



**JOSÉ MIGUEL
MEDEIROS CORREIA**

**Otimização de processos logísticos e planeamento
de rotas *mizusumashi*.**



**JOSÉ MIGUEL
MEDEIROS CORREIA**

**Otimização de processos logísticos e planeamento
de rotas *mizusumahi*.**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Maria Pinto de Moura, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

Dedico este trabalho à minha família.

o júri

Presidente

Prof. Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogal - Arguente Principal

Prof. Doutora Maria Cristina Saraiva Requejo Agra
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

Vogal - Orientador

Prof. Doutora Ana Maria Pinto de Moura
professora auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Em primeiro lugar aos meus pais e irmã por tornarem possível todo este percurso, por toda a ajuda prestada e me terem ensinado tudo o que hoje sei. Por todo o amor, carinho, apoio e por acreditarem sempre em mim. O meu muito obrigado.

Aos meus amigos por estarem sempre presentes, mesmo quando não o seja fisicamente.

À minha orientadora da Universidade de Aveiro, Prof. Doutora Ana Moura pela disponibilidade, sugestões e críticas necessárias para a elaboração deste projeto.

Por fim, a todos os colaboradores da Oliveira & Irmão S.A. em que tive o prazer de trabalhar e em especial ao Eng. Daniel Reis, Eng. Francisco Almeida, Eng. Ricardo Pesqueira e Eng. Hernâni Eira, por todos os ensinamentos transmitidos ao longo do estágio.

palavras-chave

Lean, standard work, planeamento de rotas para veículos, logística interna, programação linear, métodos heurísticos, mizusumashi.

resumo

Esta dissertação retrata o trabalho desenvolvido numa empresa portuguesa, com o intuito de otimizar um processo de separação e embalagem de material injetado e também melhorar as rotas diárias dos comboios logísticos (*mizusumashi*). O objetivo principal do projeto passa por reduzir o tempo de ambos os processos e consequentemente aumentar a produtividade fabril. Relativamente à separação e embalagem de peças, cada operador tem a seu cargo cerca de 13 máquinas, onde tem de organizar o seu posto de trabalho, para cada uma das diferentes máquinas, de maneira eficiente. Como não existia qualquer guia para este processo foi então elaborado um plano de *standard work* para resolver este problema. Deste modo todos os operadores realizam as tarefas de maneira idêntica e da forma mais eficiente. De acordo com as necessidades de produção, são definidas diariamente rotas para os diversos *mizusumashis*, que entregam e recolhem material em pontos pré-definidos das linhas. Para isso, as rotas têm de ser calculadas de acordo com as necessidades produtivas, os pontos de carga e descarga, os tempos de serviço em cada ponto, os tempos de deslocação entre os pontos e precedências na ordem de visita dos mesmos. Foi então desenvolvida uma abordagem que recorre a um modelo de programação linear, para cálculo das rotas diárias. Deste modo o operador é capaz de adaptar as diferentes rotas existentes às mais diversas necessidades diárias da fábrica. Para validação das abordagens desenvolvidas, foram testados vários cenários possíveis, recorrendo sempre a dados reais e concretos da empresa. Estes resultados obtidos são posteriormente comparados com os dados históricos da empresa, verificando-se uma melhoria significativa em termos de redução de tempos totais dos dois processos.

keywords

Lean, standard work, vehicle routing planning, internal logistics, linear programming, heuristics methods, *mizusumashi*.

abstract

This dissertation shows the work developed in a Portuguese company, and it's focused on the optimization of the process for separate and packing parts and also improving the daily routes of the logistic trains (*mizusumashi*). The main goal of the project is to minimize the time of both processes and improve the productivity of the company.

About the separation and the packing of the produced parts, each operator is responsible for 13 machines, where he has to organize the work place, for each one of the different machines, in an efficient way. The company didn't have any kind of guide for this process, so a plan of standard work was elaborated to solve the problem. This way all the operators made the same tasks in the same way and efficiently.

According to the production necessities, daily routes are defined for all the *mizusumashi* that deliver and take material in pre-defined points. For that, the routes have to be calculated according to: production necessities, the points of pick up and deliver, the time of service in each point, the time between two points and the precedence's in the visiting order. It was developed an approach that uses a linear programming model, for calculating the daily routes. In this way the operator is capable of adapting the different routes to the daily necessities of the factory.

For validating the developed approaches, various sceneries were tested, always using real data from the company. This results were compared with historic data from the company, and it was verified a significant improvement in the total time of both processes.

Índice

Capítulo I – Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos e metodologia.....	2
1.3. Estrutura do relatório	2
Capítulo II – Estado da Arte.....	3
2.1. <i>Toyota Production System</i>	3
2.2. <i>Lean Manufacturing</i>	5
2.2.1. Conceitos e princípios.....	5
2.2.2. <i>Lean thinking</i>	7
2.3. Conceção de trabalho.....	8
2.3.1. Análise dos métodos de trabalho	9
2.3.1.1. Análise de Pareto.....	10
2.4. <i>Standard Work</i>	11
2.5. Sistema <i>Pull</i>	12
2.5.1. <i>Kanban</i>	13
2.6. <i>Just-in-time</i>	14
2.7. Logística	15
2.7.1. Logística Interna	16
2.8. <i>Mizusumashi</i>	16
2.9. Investigação operacional	18
2.9.1. Problemas de otimização.....	18
2.9.2. Métodos exatos e métodos heurísticos.....	19
2.9.3. <i>Vehicle Routing Problems (VRP)</i>	20
Capítulo III – Caso de estudo.....	24
3.1. Apresentação da empresa	24
3.1.1. Processo de fabrico	25
3.1.1.1. Áreas em estudo.....	26
3.1.1.2. Departamento de operações.....	26
3.1.1.3. Processo de injeção	27
3.1.1.4. Departamento de Engenharia	31
3.1.1.5. Departamento de Logística.....	31
3.1.1.5.1. Processo de abastecimento.....	32
3.2. Situação Inicial	35

3.2.1.	Automáticas.....	35
3.2.2.	Abastecimento.....	36
3.2.3.	Análise Inicial	36
3.2.3.1.	Processo de separação (Automáticas)	36
3.2.3.2.	Processo de Abastecimento	41
Capítulo IV – Otimização dos processos - Desenvolvimento e implementação		44
4.1.	Implementação de <i>layouts</i> para organização do posto de trabalho.....	44
4.1.1.	Ficha de <i>Layout</i> por Molde (FLM)	44
4.1.2.	Zona de descargas	47
4.1.3.	Moldes Críticos	47
4.1.4.	Otimização das rotas <i>mizusumashi</i>	48
4.1.4.1.	Dados e restrições do problema	48
4.1.4.2.	Modelo matemático	54
4.1.4.3.	Abordagem híbrida	55
4.1.4.4.	Aplicação desenvolvida.....	58
Capítulo V – Resultados.....		62
5.1.	Otimização de processos de separação de peças.....	62
5.2.	Otimização do processo de abastecimento das linhas de montagem	65
Capítulo VI – Conclusões e desenvolvimentos futuros		67
6.1.	Conclusões.....	67
6.2.	Desenvolvimentos futuros.....	68
7.	Bibliografia.....	69
8.	Anexos	73

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Diagrama de Pareto dos Setores	38
Gráfico 2: Diagrama de Pareto dos tempos do Setor 1	38
Gráfico 3: Diagrama de Pareto dos tempos do Setor 2	39
Gráfico 4: Diagrama de Pareto dos tempos do Setor 3	39
Gráfico 5: Diagrama de Pareto dos tempos do Setor 4	40
Gráfico 6: Exemplo de gráfico de análise dos tempos	50
Gráfico 7: Exemplo de gráfico de análise do número de caixas manipuladas	51
Gráfico 8: Análise de Pareto do setor 1 depois das implementações	64
Gráfico 9: Análise de Pareto do setor 2 depois das implementações	64

Índice de Figuras

Figura 1: Casa do Toyota Production System – Citação de (Liker, 2004)	4
Figura 2: Princípios do Lean Manufacturing – Citado de (Hines, Holweg, & Rich, 2004)	5
Figura 3: Atividades que acrescentam e não-acrescentam valor. Citado de (Pinto J. P., 2008) ...	7
Figura 4: Ciclo de melhoria de um processo – Traduzido de (Zeng, An, & Smith, 2007)	10
Figura 5: Influências do JIT num processo produtivo – Citado de (Pinto J. , 2009).	15
Figura 6: Fases do sistema Mizusumashi – traduzido de (Nomura & Takakuwa, 2006)	17
Figura 7: Exemplo de uma rota Mizusumashi – Citado de (Nomura & Takakuwa, 2006)	18
Figura 8: Processo de modelação –Fonte (Arenales, Armentano, Morabito, & Yanasse, 2007)	19
Figura 9: Fluxo de peças	26
Figura 10: Processo produtivo da área de injeção	29
Figura 11: diferentes setores da fábrica	30
Figura 12: Foto do comboio logístico misusumashi	32
Figura 13: Processo de abastecimento das linhas de montagem	34
Figura 14: Área definida para a organização do posto de trabalho	35
Figura 15: Foto da desorganização dos setores	35
Figura 16: Exemplo de uma FLM	46
Figura 17: Zona de descargas do sector 3	47
Figura 18: Funcionamento do algoritmo	56
Figura 19: Situação de pontos com precedências	57
Figura 20: Solução final de uma situação de pontos com precedências	57
Figura 21: Janela inicial	58
Figura 22: Interface gráfica programa	58
Figura 23: Janela dos pontos de paragem selecionados	59
Figura 24: Janela para adicionar supermercados extra.	59
Figura 25: Exposição do resultado	60
Figura 26: Folha de cálculo da rota	60
Figura 27: Rota das “Válvulas” calculada pelo algoritmo	66

Índice de Tabelas

Tabela 1: Os Cinco princípios do lean manufacturing (Pinto J. P., 2008)	6
Tabela 2: Principais fontes de desperdício – Citado de (Pinto J. P., 2006)	8
Tabela 3: Diferenças no processo logístico – Adaptado de (Liker J. , 2004).	16
Tabela 4: Rotas de abastecimento de linhas de montagem por turno	33
Tabela 5: Exemplo das amostras recolhidas para o processo de separação de peças	36

<i>Tabela 6: Média dos tempos de outros processos realizados pelo operador responsável pela separação de peças</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 7: Médias totais de cada setor e total de cada um dos processos.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 8: Tempo e distância do percurso em cada uma das rotas</i>	<i>41</i>
<i>Tabela 9: Postos por rota</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 10: Diferentes categorias de moldes</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 11: Análise às máquinas 63 e 65</i>	<i>47</i>
<i>Tabela 12: Análise à máquina 54</i>	<i>48</i>
<i>Tabela 13: Supermercados e os postos dos quais estes contêm peças.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabela 14: Exemplo de tabela de medições de tempos e número de caixas</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 15: Exemplo das médias totais das variáveis</i>	<i>50</i>
<i>Tabela 16: Médias das amostras dos supermercados</i>	<i>51</i>
<i>Tabela 17: Médias dos tempos de abastecimento de esferovite.</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 18: Média geral dos tempos e construção de carros de kit's</i>	<i>52</i>
<i>Tabela 19: Parte da tabela de tempos de serviço nos diferentes pontos de paragem</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 20: Cálculo da velocidade média</i>	<i>53</i>
<i>Tabela 21: Parte da matriz de tempos de deslocação</i>	<i>54</i>
<i>Tabela 22: Exemplo dos resultados recolhidos para o processo de separação de peças.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 23: Amostra recolhida antes da implementação das FLM</i>	<i>62</i>
<i>Tabela 24: Amostra recolhida depois da implementação das FLM</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 25: Resultados da implementação do algoritmo.....</i>	<i>65</i>

Índice de Anexos

<i>Anexo 1: Rota dos exteriores.....</i>	<i>73</i>
<i>Anexo 2: Rota das válvulas.....</i>	<i>74</i>
<i>Anexo 3: Rota dos interiores</i>	<i>75</i>
<i>Anexo 4: Rota dos mecanismos.....</i>	<i>76</i>
<i>Anexo 5: Rota das placas</i>	<i>77</i>
<i>Anexo 6: Rota das torneiras</i>	<i>78</i>

Capítulo I – Introdução

1.1. Enquadramento

A Oliveira & Irmão, S.A. foi a empresa escolhida para a realização do estudo. O facto de esta ser a segunda maior empresa de fabrico de autoclismos e mecanismos de descarga, e uma das principais produtoras europeias do ramo, definiu a razão desta opção.

Cada vez é mais notório o ambiente competitivo na indústria devido ao surgimento diário de novas empresas e aos avanços tecnológicos que permitem às mesmas a prática de melhores preços e o rápido desenvolvimento de novos produtos. Deste modo, as organizações têm de ser capazes de se adaptar ao ritmo de mudança constante, para fazerem frente à concorrência. Neste sentido, as empresas têm de adotar uma filosofia de melhoria contínua em todos os seus níveis hierárquicos para se manterem na vanguarda do mercado. O *lean* é uma ferramenta que deve ser utilizada no dia a dia da empresa, em todo o tipo de situações e por todos os colaboradores da mesma. O investimento numa filosofia *lean* advém da necessidade de melhorar o nível de eficácia, eficiência, retorno e qualidade, para a empresa poder competir ao mais alto nível.

A relação preço/qualidade é uma das características que diferencia as empresas no ponto de vista da satisfação do cliente, o que obriga a mesma a criar objetivos de melhoria contínua que passam pela redução dos custos de produção, sem implicar a redução da qualidade do seu produto.

Este projeto foi desenvolvido em duas áreas diferentes da fábrica, uma na área de produção e a outra associada à logística, mas ambas abrangem o tema da otimização. Uma primeira parte de definição e otimização de *layout's* e uma segunda parte de otimização de rotas *mizusumashi*.

Para a concretização deste projeto é importante que os operadores entendam a definição de *layout* e a implicação da não aplicação dos procedimentos definidos para a separação e embalamento das peças. É também imprescindível que os colaboradores responsáveis pelas rotas dos *mizusumashi* tenham noção do impacto que um percurso mal elaborado poderá gerar, como gastos relacionados com energia, mão de obra e tempo.

Outro conceito que tem de estar sempre presente é o da qualidade, bem como a importância do autocontrolo para a garantia de produção de peças conformes. Com este estudo pretende-se a otimização e padronização do *layout* de forma que as funções de cada colaborador não interfiram na realização desse autocontrolo, o que atualmente não acontece.

1.2. Objetivos e metodologia

O objetivo principal deste projeto é a otimização de processos. Uma primeira parte debruçada sobre a produção, com o intuito de melhorar as tarefas realizadas pelo operador, através da definição de um plano de *standard work*.

Em relação ao *mizusumashi* pretende-se otimizar as rotas existentes de forma a reduzir o tempo do processo de abastecimento das linhas de montagem do produto final, levando a uma redução nos custos de energia e de mão de obra. Para isso foi também desenvolvido um algoritmo para que a rota possa ser adaptada às exigências diárias da empresa.

Este projeto foi realizado com base em várias metodologias existentes. Numa primeira fase, foi feito o levantamento de tempos dos diferentes processos. Deste modo obteve-se um maior conhecimento dos procedimentos, o que permitiu identificar quais as operações e áreas críticas dos diferentes processos. Na segunda fase realizou-se uma análise dos tempos retirados anteriormente e elaborou-se um plano de trabalho para a resolução dos maiores problemas, avançando-se para a estruturação do projeto. Começando pela definição e reorganização dos *layouts* nas linhas de injeção, através da criação de uma ficha de layout por molde, para que cada operador consiga organizar o posto de trabalho de maneira eficiente e uniforme, consoante as diferentes necessidades de produção. Estes tempos foram também utilizados para a otimização das rotas *mizusumashi*. O cálculo das rotas é feito através de um modelo de programação linear, permitindo obter rotas ótimas. Com vista à adaptação diária das rotas às diferentes necessidades da fábrica, foi desenvolvido um algoritmo. Finalmente foi feita uma validação dos resultados através da comparação dos tempos necessários para o abastecimento das linhas, antes e depois das melhorias implementadas.

1.3. Estrutura do relatório

O trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro é o capítulo introdutório, o segundo é referente ao estudo teórico realizado para apoio ao projeto a ser implementado.

O caso de estudo é apresentado no capítulo três onde é descrita a empresa, caracterizada a situação atual e identificadas as estratégias para a resolução dos problemas. No geral é um capítulo com uma abordagem prática que pretende expor a sequência de procedimentos na realização do trabalho. Os resultados da implementação das diferentes soluções encontram-se no capítulo quatro.

Por fim, as conclusões retiradas no final do trabalho são remetidas para o quinto e último capítulo, sendo referido também algumas indicações a seguir numa investigação futura.

Capítulo II – Estado da Arte

2.1. *Toyota Production System*

Henry Ford que comandava a *Ford Motor Company*, concebeu o sistema de produção em massa que utilizou, com sucesso, na sua empresa, levando a mesma a ser reconhecida internacionalmente no mundo da indústria automóvel. Este sistema consistia em produções de grandes escalas, produtos estandardizados e utilização de linhas de montagem que são a fundação deste sistema. Mas, à medida que o mercado foi evoluindo, as preferências dos clientes também mudaram. Então começou-se a procurar maior diversificação de produtos, o que se tornou um grande problema para este sistema de produção, pois, com a chegada da segunda Guerra Mundial, a escassez de recursos levou ao abandono deste sistema (Womack, Jones, & Roos, *The Machine that Changed the World*, 1990).

Após a segunda Guerra Mundial as fábricas enfrentaram uma grande escassez de material, recursos financeiros e humanos o que originou o nascimento do *Toyota Production System* (TPS) ou *Lean Manufacturing* (Womack, Jones, & Roos, *The Machine that Changed the World*, 1990).

Kiichiro Toyota, presidente da Toyota na altura, ao aperceber-se que as empresas americanas de automóveis eram mais produtivas que as japonesas, e em conjunto com Taiichi Ohno e Shigeo Shingo tentaram alcançar os níveis de produtividade americanos através da criação de um novo sistema de produção, focado no processo. Este sistema tem por base a identificação de operações onde ocorrem desperdícios, e posteriormente eliminá-las através de várias ferramentas *Lean* (Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

O TPS pode ser considerado uma revolução na indústria. Este sistema tem por base a melhoria contínua que visa a utilização de diferentes técnicas e atividades para reduzir o desperdício numa organização, como por exemplo, práticas de prevenção de erros ou *poka-yoke*, o sistema *pull*, controlo visual ou *Andon*, redução de *setups*, o envolvimento de todos os colaboradores, o sistema de controlo *kanban*, os 5S's ou organização de trabalho, a manutenção produtiva total, produção celular e pessoas polivalentes, a automação com características humanas, a gestão da qualidade e finalmente o balanceamento de processos. (Pinto, 2009).

O TPS é muitas vezes representado como uma casa, para representar as suas diferentes áreas e demonstrar também como elas se interligam e complementam (Figura 1).

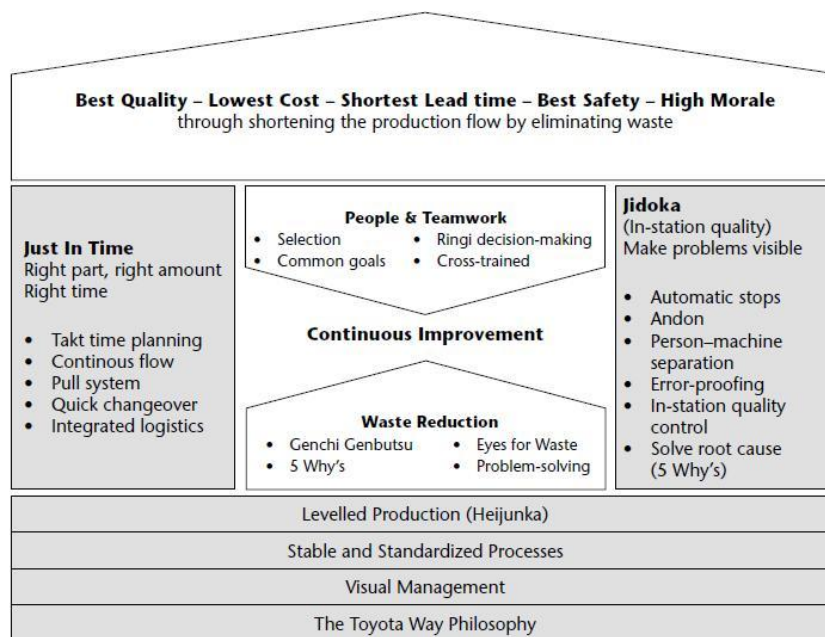


Figura 1: Casa do Toyota Production System – Citação de (Liker, 2004)

Segundo (Pinto J. P., 2006) na base desta casa encontram-se as pedras basilares deste sistema:

- Filosofia Toyota (*Toyota Way*) – é uma filosofia cujo lema é orientar a organização para um objetivo comum assente em 14 princípios distintos. O foco desta filosofia ultrapassa o monetário e pretende atingir objetivos para além do dinheiro.
- Controlo Visual – consiste em atividades simples que visam a utilização de todos os colaboradores para a realização das mesmas
- Processos estáveis e estandardizados - é a uniformização de todos os processos, ou seja, tentar que todos os processos sejam idênticos, o que leva a que o output seja menos dependente do processo, o que contribui para a redução de desfeitos e desperdício.
- *Heijunka* (nivelamento da produção) – Tem como objetivo a redução de *stock's* mantendo um nível contínuo de produção.

Os pilares que asseguram a estrutura da casa são:

- *Just-in-time* (JIT) – pretende que em cada linha de montagem as peças estejam disponíveis apenas quando são necessárias, o que permite reduzir os valores de *stock*.
- *Jidoka* – tem por objetivo, que de cada vez que é detetado algum defeito, o sistema (automático ou humano) seja capaz de parar o processo para se poder conhecer a causa do problema, evitando que este siga para o cliente.

No interior desta casa estão as peças fulcrais para o TPS que irão conduzir a organização para a melhoria contínua:

- Pessoas e trabalho em equipa – é necessário que todos os colaboradores da empresa tenham bem assente o que é o TPS, pois se não for praticado por todos, não é possível atingir eficiência máxima.

- Redução de desperdício – A organização tem de garantir uma redução de desperdício contínua praticada por todos.

Por fim os objetivos do TPS são: melhor qualidade, redução de custos, redução no tempo de ciclo dos produtos, mais segurança e uma maior satisfação no posto de trabalho. Estes serão alcançados se todos os processos referidos anteriormente forem implementados e interligados.

2.2. *Lean Manufacturing*

Lean Manufacturing é uma filosofia de gestão para a produção fabril ou numa empresa de serviços, que contém variadas técnicas e atividades permitindo a identificação e a eliminação de atividades sem valor para a empresa, reduzido assim o desperdício e por consequência aumentando a produtividade da mesma (Womack, Jones, & Roos, *The Machine that Changed the World*, 1990).

2.2.1. Conceitos e princípios

De acordo com (Womack, Jones, & Roos, *The Machine that Changed the World*, 1990) o *Lean Manufacturing* assenta em cinco princípios fundamentais (Figura 2). Estes princípios são descritos por (Pinto J. , 2009) na Tabela 1.



Figura 2: Princípios do Lean Manufacturing – Citado de (Hines, Holweg, & Rich, 2004)

1. Valor	Identifica o que os clientes querem. Quaisquer características ou atributos do produto ou serviço que não atendam às necessidades ou expectativas de valor dos clientes representam oportunidades de melhoria.
2. Cadeia de Valor	<p>A cadeia de valor (<i>value stream</i>) é o conjunto de todas as etapas e ações necessárias à satisfação dos pedidos do cliente, através de três atividades críticas de gestão de qualquer negócio:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resolução de problemas (desde a conceção até à entrega do produto); • Gestão da informação (desde o acompanhamento das ordens até ao registo); • Transformação física (desde os materiais até aos produtos finais/serviços nas mãos do cliente); <p>A cadeia de valor é o veículo que permite entregar valor aos clientes. É a sequência de processos que desenvolvem, produzem e entregam os resultados desejados. O <i>lean thinking</i> procura racionalizar cada etapa dos processos.</p> <p>A análise da cadeia de valor consiste na identificação de três tipos de ações:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aquelas que criam valor, ver a figura 3; • Aquelas que embora não acrescentando valor, são inevitáveis, dado à atual tecnologia e formas de organização e gestão; • Aquelas que não acrescentam valor e são totalmente dispensáveis.
3. Fluxo	Organiza-se a cadeia de valor para eliminar qualquer parte do processo que não acrescente valor, tornando o processo o mais fluido possível. A ideia de criar um fluxo contínuo é poder fabricar produtos ao ritmo a que são pedidos pelo cliente.
4. Puxar (<i>Pull</i>)	Este conceito consiste em produzir apenas aquilo que é necessário e quando for preciso. Visa evitar a acumulação de <i>stocks</i> de produtos, mediante a produção e fornecimento daquilo que o cliente deseja quando este precisar, nem mais cedo nem mais tarde.
5. Perfeição	A perfeição traduz-se na completa eliminação do desperdício. A este nível, só as atividades que acrescentam valor estão presentes nos processos. É o compromisso de procurar continuamente os meios ideais para criar valor enquanto o desperdício é eliminado. Trata-se de uma jornada de melhoria contínua.

Tabela 1: Os Cinco princípios do lean manufacturing (Pinto J. P., 2008)

(Pinto J. , 2009) defende que aos cinco princípios anteriores, podem ainda ser acrescentados mais dois, sendo:

- Conhecer os *stakeholders* – A empresa não deve focar-se apenas na satisfação dos clientes, mas sim em todos aqueles que interagem com o negócio;
- Inovar constantemente – A organização tem de estar disposta a criar valor através da inovação, criando novos produtos, serviços ou processos e nunca devem negligenciar esta ação fulcral, pois caso aconteça, de que serve a uma organização altamente eficiente produzir um produto que já está ultrapassado no mercado?

2.2.2. *Lean thinking*

A filosofia *lean thinking* surgiu como um sistema de gestão, cujo objetivo é desenvolver os processos e procedimentos através da redução contínua de desperdício em todas as suas fases, como, por exemplo, excesso de *stocks* entre estações de trabalho, bem como tempos de espera elevados. Os objetivos do *lean thinking* são a qualidade e a flexibilidade do processo, reforçando a sua capacidade de competir num cenário cada vez mais exigente e globalizado. No fundo, trata-se de um sistema TPS atualizado com a introdução de novas práticas e ferramentas, como por exemplo: o serviço ao cliente e a cadeia de valor. (Pinto J. P., 2008)

A designação "*lean thinking*" foi pela primeira vez utilizada por *Womack et al* (1996) no livro com o mesmo nome. Os investigadores JP Womack e DT Jones passaram mais de uma década no Japão a estudar métodos de gestão daquele país.

Num processo típico, o desperdício pode representar até 95% do tempo total. Tradicionalmente, as empresas orientam o seu esforço de aumentos de produtividade para a componente que acrescenta valor (5%), ignorando o enorme potencial de ganho que pode ser obtido se a atenção for orientada para as atividades que não acrescentam valor, como mostra a figura 3. (Pinto J. P., 2008)

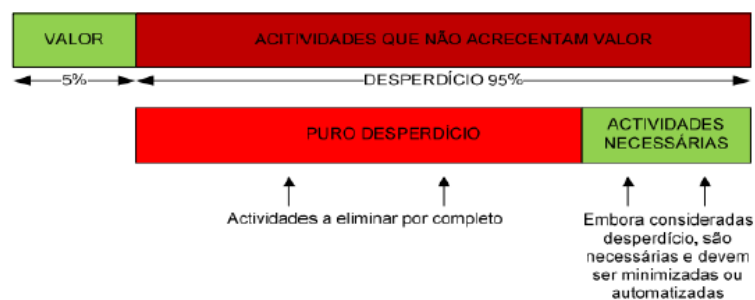


Figura 3: Atividades que acrescentam e não-acrescentam valor. Citado de (Pinto J. P., 2008)

Segundo (Pinto J. P., 2006) as principais fontes de desperdícios são as descritas na Tabela 2.

Excesso de produção	Produzir excessivamente ou cedo de mais, resultando fluxos irregulares de materiais e informação, ou em excesso de <i>stocks</i> ;
Tempos de espera	Longos períodos de paragem de pessoas, equipamentos, materiais, peças e informação, resultando em fluxos irregulares, bem como em longos <i>lead times</i> ; por exemplo, avarias do equipamento, atrasos nas entregas, burocracias nos processos, pouca autonomia das pessoas, etc;
Transportes	Deslocações excessivas de pessoas, materiais e informação resultando em dispêndio desnecessário de capital, tempo e energia;
Processos Inadequados	Utilização incorreta de equipamento e ferramentas, aplicação de recursos e processos inadequados às funções, aplicação de procedimentos complexos ou incorretos ou sem a informação necessária;
Excesso de <i>stocks</i> (Inventário)	Demasiados tempos e locais de armazenamento, falta de informação ou produtos, resultando em custos excessivos, baixo desempenho e mau serviço prestado ao cliente;
Movimentação desnecessária	Desorganização dos locais de trabalho, resultando em mau desempenho, despreocupação por aspetos ergonómicos e pouca atenção às questões associadas ao estudo do trabalho;
Defeitos (qualidade)	Problemas frequentes nas fases de processo, problemas de qualidade do produto, ou baixo desempenho na entrega.

Tabela 2: Principais fontes de desperdício – Citado de (Pinto J. P., 2006)

Taichi Ohno e Shigeo Shingo edificaram estas sete fontes de desperdício como os originais do TPS, contudo outros estudos acrescentam uma oitava fonte de desperdício “*design* de produtos e serviços que não vão ao encontro das necessidades dos clientes” (Pinto J. P., 2006). Outras formas de desperdício podem ser ainda o espaço e atividades de subprocessamento e o não aproveitamento do potencial das pessoas.

2.3. Conceção de trabalho

Das interações entre trabalhadores, equipamentos, ferramentas e outros aspetos organizacionais, surge o ambiente de trabalho. Portanto a conceção de um sistema de simbiose tão complexo como este, deve ser planeado ao mais alto detalhe e considerado um elemento chave da estratégia organizacional, por parte da chefia da empresa. Cada vez mais as empresas têm como objetivo aproveitar ao máximo o capital humano, e, por conseguinte, melhorar as condições de trabalho dos seus colaboradores, bem como promover o respeito mútuo entre todos os elementos da empresa, com o objetivo de melhorar o rendimento da empresa e aumentar a felicidade de todos os colaboradores. (Stevenson, 2005).

Cada vez mais a competitividade de mercados aumenta, o que leva as empresas a adotarem estratégias que promovam a redução de custos e o aumento da produtividade. Portanto, é fulcral para as empresas o investimento na conceção de trabalho. (Freidvals & Niebel, 2009) Este método foca-se no trabalho que é realizado na empresa, como é feito, quem o faz e onde é feito e permitindo à empresa melhorar indicadores a nível de produtividade, segurança e de condições de trabalho (Stevenson, 2005).

2.3.1. Análise dos métodos de trabalho

Este método é utilizado para estudar o modo de trabalho de uma organização, verificando-se um aumento na produtividade da empresa. De modo sucinto esta técnica tem vários ramos de intervenção, desde mudanças nas ferramentas e equipamentos, alterações nos materiais ou processos, mudanças no *design* do produto ou mesmo a introdução de novos produtos, entre outros (Figura 4) (Stevenson, 2005).

O foco do estudo, normalmente são as tarefas que têm maior necessidade de mão de obra, ou que sejam realizadas repetidamente, tornando-se cansativas ou pouco seguras, onde se verifiquem problemas de qualidade com frequência, ou atividades gargalo do processo produtivo da empresa (processo ou tarefa que limita o desempenho ou a capacidade de todo o sistema). O estudo foca-se maioritariamente nestas atividades pois são aquelas com maior potencial de impacto em termos de produtividade (Faria & Maristela, 2010).

A análise dos métodos de trabalho pode ter por base a metodologia de Pareto, onde através da recolha de dados é possível analisar o estado do processo de trabalho e verificar dentro desse método, onde se foca o problema, para posteriormente ser melhorado. É possível utilizar esta metodologia tanto em novos processos como naqueles já existentes (Brynjolfsson, Hu, & Simester, 2011).

A inovação, é associada geralmente à criação de novos produtos ou serviços, mas esta também pode ser utilizada em processos. A inovação de processos pode estar associada a pequenas melhorias implementadas no processo com o objetivo de aumentar a produtividade, a eficiência, a satisfação dos clientes e a satisfação dos colaboradores, podendo ainda resultar numa redução de custos no produto final (Freidvals & Niebel, 2009).

O pensamento *lean* é outra metodologia que pode ser usada em concordância com a análise ao método de trabalho, pois este pode impulsionar a inovação nos processos das organizações que o utilizam, através das ferramentas *kaizen*, ou seja, melhoria contínua. Por vezes melhoria dos processos produtivos levam a mudanças do *layout* da fábrica, mas sempre com o foco de melhorar o processo produtivo da empresa com o objetivo de aumentar o rendimento da organização (Stevenson, 2005).

Segundo (Faria & Maristela, 2010), uma análise detalhada dos métodos de trabalho pretende responder a algumas questões, como:

- Como se podem minimizar ou eliminar as distâncias percorridas?
- É possível reduzir o manuseamento dos materiais?
- O uso de novos equipamentos pode ajudar o processo?
- Terá o reajustamento do posto de trabalho um impacto positivo na eficiência?

Depois de analisado o método de trabalho avança-se para a fase da implementação das medidas de melhoria, mas para que esta seja bem sucedida, é necessário que haja, por parte da administração da empresa, muita preparação e um grande poder de persuasão, pois a aplicação destas melhorias pode ser implicada caso não haja cooperação e colaboração por parte dos colaboradores da empresa. Esta situação pode ser evitada se os trabalhadores forem envolvidos no processo desde cedo e estiverem a par de todas as decisões tomadas durante a elaboração deste projeto, e que sejam sempre tidas em conta a sua opinião e as suas ideias (Stevenson, 2005).

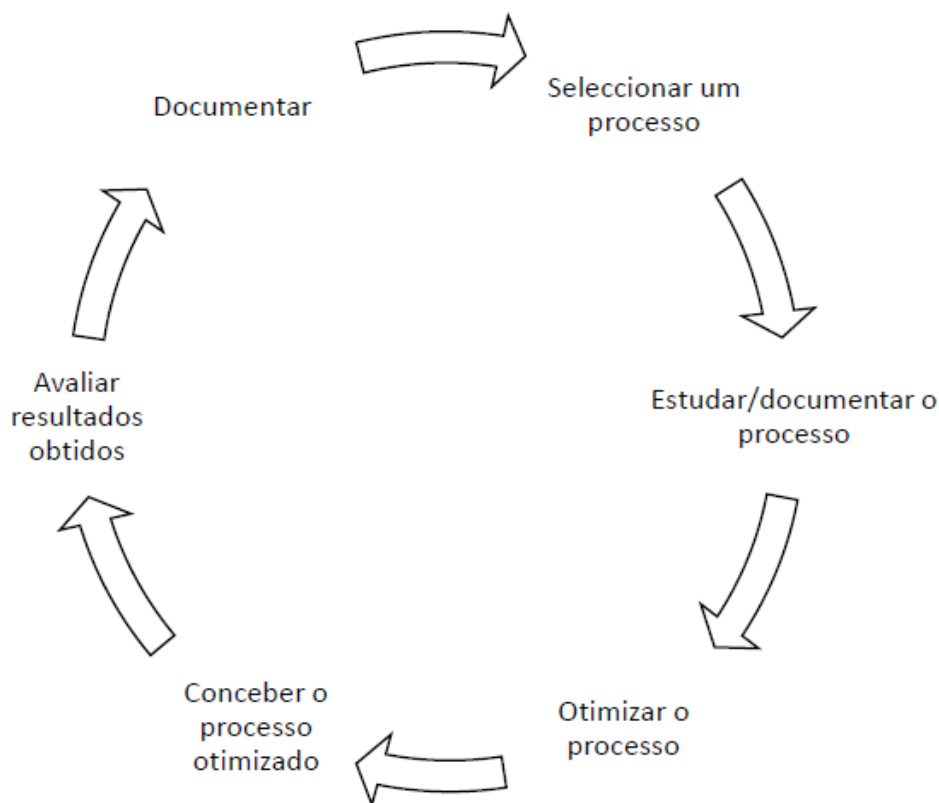


Figura 4: Ciclo de melhoria de um processo – Traduzido de (Zeng, An, & Smith, 2007)

2.3.1.1. Análise de Pareto

Esta análise foi criada por Vilfredo Pareto e tem como objetivo compreender a relação ação-benefício, ou seja, prioriza a ação que trará o melhor resultado. Esta baseia-se no princípio de que a maioria das perdas tem poucas causas, ou que poucas causas são vitais, sendo a maioria trivial. Esta análise tem como peça fulcral a Lei de Pareto, também conhecida como o princípio 80-20, esta refere que 80% das consequências decorrem de 20% das causas, por isso permite identificar quais as áreas dentro de um processo que trazem maior desperdícios e de seguida eliminá-las reduzindo assim o desperdício dessa atividade (Brynjolfsson, Hu, & Simester, 2011).

A análise é exposta através de um diagrama, diagrama este que é considerado uma das sete ferramentas básicas da qualidade. É composto por um gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências em ordem decrescente, e permite a localização de problemas vitais e a eliminação de futuras perdas (Iancu & Trichakis, 2014).

Segundo (Iancu & Trichakis, 2014) para o diagrama ser bem aplicado é necessário seguir o seguinte conjunto de passos:

- Determinar o objetivo;
- Definir o aspeto do tipo de perda;
- Organizar os dados com as categorias do aspeto definido;

- Fazer os cálculos de frequência e agrupar as categorias que ocorrem com baixa frequência;
- Calcular o total e percentagem de cada item sobre o total e o acumulado;
- Traçar o diagrama.

2.4. *Standard Work*

“Uniformizar, normalizar ou estandardizar, significa fazerem todos do mesmo modo, seguindo a mesma sequência, as mesmas operações e as mesmas ferramentas” (Pinto J. P., 2006).

O *standard work*, ou trabalho padronizado é uma ferramenta *lean* utilizada para desenvolver métodos de trabalho, focada na redução de variação de um processo, levando a melhores resultados.

Este conceito está integrado no TPS e surge na Toyota através da adoção do *Training Industry Program* (TWI), mas melhorado por Taiichi Ohno, que implantou um fluxo contínuo, para tentar reduzir os desperdícios das operações, o que levou a um balanceamento das linhas de produção e consequentemente a um fluxo contínuo com base no ritmo de procura, isto é, o *takt time* (Liker & Meier, 2007).

Um pressuposto do trabalho padronizado é a sua evolução e a melhoria contínua, pois todo o trabalho envolve desperdício. O objetivo do trabalho padronizado é a melhoria de segurança no posto de trabalho, qualidade de produto, produtividade e de um maior cumprimento de prazos nas linhas de produção. Segundo (Rother, 2010) é possível atingir estas metas através de:

- Redução de movimentações perigosas e desnecessárias;
- Garantia do respeito das normas de controlo e dos métodos de trabalho e da sua repetição;
- Um correto uso das ferramentas e dos equipamentos;
- Uma carga de trabalho variável, consoante o pedido dos clientes;
- Identificação e eliminação de desperdício;
- Formação dos colaboradores.

(Rother, 2010) afirma ainda que, apesar de se verificarem bastantes melhorias no uso do *standard work*, este não deve ser considerado uma ferramenta isolada. Quando aplicado numa organização tem de ter sempre como base a melhoria contínua, na procura constante de melhores métodos de trabalho, para então se atingir o nível de qualidade e excelência pretendido.

O trabalho padronizado é visto como o melhor método conhecido atualmente para aplicar a um posto de trabalho, o que faz supor que seja o melhor método para aplicar no trabalho e atingir os resultados esperados. Contudo, se for encontrada uma melhor forma de executar um trabalho, esta deve ser aplicada, pois cada processo é diferente e por vezes nem sempre o método mais famoso é o melhor método para uma determinada situação (Martin & Bell, 2011).

De acordo com (Martin & Bell, 2011) existem quatro pré-requisitos para se atingir bons resultados e manter o *standard work*, sendo:

- O operador deve ser capaz de executar a sua tarefa, isto é, tem de ter um trabalho que garanta segurança e ergonomia, no tempo e com a qualidade requisitados;
- Deve ser uma sequência repetitiva de ações. Tem de ser uma função capaz de ser executada sempre da mesma forma pelos colaboradores;
- O equipamento, as ferramentas e espaço de trabalho devem ser viáveis, de modo a impedir que surjam problemas como, por exemplo, paragens, para não se verificarem variações de efeito negativo no tempo de trabalho;
- As matérias-primas devem ser de alta qualidade. Se assim não for, pode verificar-se uma maior redução na qualidade do produto final, aumentando assim as variações do processo.

Estes requisitos visam reduzir a variabilidade do trabalho. Segundo (Womack, Jones, & Roos, *The Machine that Changed the World*, 1990), para Taiichi Ohno existiam dois componentes básicos do *standard work*:

- *Takt time* – é o tempo com que um produto ou serviço deve ser produzido para satisfazer as necessidades do cliente. A sequência de trabalho é a sequência de atividades que o operador deve realizar para que o trabalho seja bem executado. Planear esta linha condutora e a disciplina para a cumprir é fundamental para reduzir a variabilidade e a ocorrência de lapsos.
- *Standard WIP* – é o stock necessário para garantir que a produção é contínua e que a sequência de trabalho não seja quebrada, de modo a evitar mudanças no tempo de ciclo, para não influenciar o *takt time* e permitir gerir processos gargalo. A sequência de trabalho é um pré requisito e um dos componentes fundamentais do *standard work*, sendo uma das pedras basilares deste método.

2.5. Sistema *Pull*

O sistema *Pull* baseia-se no conceito de supermercado, no qual os clientes compram produtos que já estão nas prateleiras, e à medida que vão sendo retirados, estes são reabastecidos, ou seja, executa-se primeiro a encomenda e só depois a produção do produto. Por outro lado, existe o sistema *Push*, sistema que se rege de acordo com expectativas criadas pelos gestores de topo para a venda dos seus produtos, num determinado período de tempo. Quando estas expectativas estão erradas verifica-se um elevado valor de *stock* interno. O Sistema *Pull* não leva a excesso de produção pois apenas se produz o que foi encomendado (Team, 2002).

Os sistemas *Pull*, são cada vez mais implementados nas organizações e constituem um aspeto significativo do *lean manufacturing*. Uma das considerações mais importantes a ter em sistemas como este, é identificar os pontos de controlo, ou seja, onde num processo produtivo colocar os *buffers* de saída. A habilidade dos sistemas ajustam automaticamente os pedidos de *stock*, contentores permitidos e níveis ótimos, dependem desses locais de controlo (Askin & Krishnan, 2009).

Tal como todos os sistemas de produção existentes, o sistema *pull* está sujeito ao risco de paragens. A paragem imprevista tem um grande impacto no desempenho do processo produtivo, especialmente quando estas ocorrem ao nível do estrangulamento produtivo. Estas

paragens incluem avarias de máquinas, falta de manutenção, interrupção de trabalho, entre outras (Lee & Wang, 2008).

Para combater o risco de paragens utiliza-se muitas vezes um sistema *kanban*. Segundo (Askin & Krishnan, 2009) para um sistema *pull* ter sucesso este terá de respeitar quatro princípios:

- Movimentar os produtos sempre em pequenas quantidades;
- Nivelar os processos de acordo com o tempo de ciclo;
- Sinalizar o reposicionamento através de *kanbans*;
- Nivelar a variedade e quantidade de produtos ao longo do tempo.

2.5.1. *Kanban*

Um dos problemas do sistema *push*, é o elevado número de matérias-primas em movimento na fábrica e os processos não estarem em sincronia. Para combater estes problemas, foi criado o sistema *kanban*, um ramo do sistema *pull*, que auxilia a produção através da utilização de cartões. Isto leva a um aumento da flexibilidade da produção de acordo com as necessidades dos clientes, que não se verifique um excesso de movimentação dos produtos, e ainda a extinção dos processos dessincronizados (Pinto J. , 2009).

Kanban é uma palavra japonesa que significa cartão, e é o nome dado ao cartão de controlo de inventário no sistema *pull*. Este é considerado como o sistema nervoso de um processo produtivo *lean*, pois controla toda a produção. Um dos benefícios de um sistema *kanban* é reduzir o excesso de produção, pois utilizando *kanbans* apenas se produz o encomendado pelo cliente, quando é pedido e nas quantidades exatas. Um *Kanban* identifica a matéria-prima ou o componente que está a ser utilizado, o sítio onde vai ser utilizado e o sítio de onde provém (Pinto J. , 2009).

Para (Lage Junior & Godinho Filho, 2010) *kanban* pode ser definido como um mecanismo de controlo do fluxo material, a sua quantidade e o tempo próprio de produção de produtos necessários.

(Naufal, Jaffar, Yusoff, & Hayati, 2012) indicam três informações que devem constar sempre num cartão *kanban*:

- Informação sobre o cliente: cliente, nome do produto do cliente, tipo de modelo;
- Informação sobre o produto: nome do componente, imagem do componente, quantidade por lote;
- Local destinado no processo produtivo e área de armazenamento.

Para que este sistema funcione corretamente a empresa terá de adotar um sistema de produção *pull*, sendo o ideal o uso do sistema *Just-in-time*, visto que é baseado no sistema *lean*. Os objetivos deste sistema são: que os trabalhadores produzam apenas quando está sinalizado, ajudando assim a eliminar o excesso de produção, a aumentar a flexibilidade de resposta a um pedido do cliente, coordenar a produção de pequenas quantidades de um produto ou de um grande leque de produtos e integrar todos os processos conectando-os ao cliente.

2.6. *Just-in-time*

O *just-in-time* ou JIT, foi desenvolvido por Taiichi Ohno, e é parte integrante e fundamental do TPS e podendo-se descrever como a técnica de combater o desperdício no seio de uma organização. Como sabemos, qualquer atividade que não adiciona valor ao produto e gasta recursos é considerada desperdício. Desta forma, *stocks* muito grandes, com grandes valores monetários, que ocupam espaço, refugos, e que por vezes requerem retrabalho, são uma das maiores formas de desperdício verificadas nas empresas, hoje em dia, que devem ser eliminados ao máximo (Pinto J. , 2009).

Este conceito expandiu-se, e, atualmente é mais uma filosofia de gestão que procura reduzir os desperdícios, mas que também se foca em entregar o componente certo, no lugar correto e no momento desejado. Ao contrário da abordagem tradicional, adotada anteriormente pelas empresas, de produzir mesmo que não seja necessário (*Just-in-Case*), esta filosofia tem como foco, a produção controlada, ou seja, apenas produzir quando é necessário (*Just-in-Time*). O JIT leva a organização a valores mais baixos de *stock*, de custos e a um aumento na qualidade (Womack & Jones, Lean Thinking, Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, 2003).

A pedra basilar desta filosofia *Just-in-Time* é a produção puxada ou *Pull System*, que deve ser implementada ao longo de todo o processo de fabrico. O material que será utilizado ao longo das atividades do processo só é solicitado se realmente existir uma necessidade. Com isto verifica-se uma redução de desperdício que não se verifica na produção empurrada ou *Push System*, onde se acumulam *stocks*, *stocks* estes que levam a muita despesa. Em processos produtivos comuns, aceitam-se certas quebras de processo, como *setups* e quebras de máquinas. Enquanto alguns sistemas tradicionais aceitam *stocks* para encobrir problemas como os referidos anteriormente, o JIT ao levar a uma redução de *stocks* vai descobrir estes desperdícios, permitindo posteriormente aplicar melhorias nessas atividades, tornando assim todo o processo mais eficiente (Womack & Jones, Lean Thinking, Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, 2003).

Como se verifica na Figura 5, o *stock* de uma empresa e o custo que ela representa está metaforizado pela a água de um lago, que encobre certas formações rochosas, representando os diversos problemas que uma organização tem no seu processo produtivo. Deste modo, a empresa é representada pelo barco que à medida que vai reduzindo o seu nível de *stock*, torna visível os problemas existentes no processo produtivo. Ao reduzir os *stocks*, estamos a permitir a identificação dos problemas existentes e que ao serem eliminados tornavam o fluxo produtivo mais suave e infalível (Pinto J. , 2009).

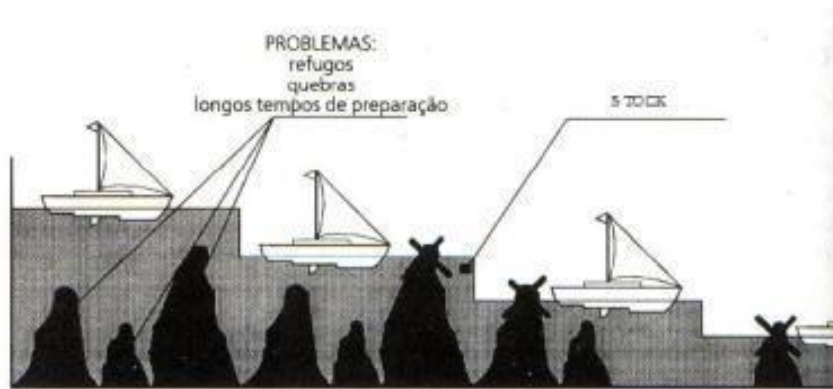


Figura 5: Influências do JIT num processo produtivo – Citado de (Pinto J. , 2009).

2.7. Logística

A logística começou a ganhar visibilidade no mundo empresarial no final do século XIX, e tem como objetivo o fluxo e armazenamento de bens. Durante os seguintes anos, as empresas aperceberam-se que a gestão logística era uma ferramenta vital para a sua sobrevivência, pois permite-lhes ganhar vantagem competitiva (Christopher , 1998).

A globalização fabril criou desafios logísticos associados a tempos de fluxo, custos de armazenamento e transporte de materiais, por isso, a logística é vista como uma estratégia de gestão da procura, distribuição, armazenamento de materiais, componentes ou produtos finais, e ainda do fluxo de informação, desde o fornecedor até ao cliente final. Pode resumir-se como sendo o elo de ligação entre o mercado e a organização (Christopher , 1998).

É possível afirmar que, de forma genérica, a logística é parte integrante do processo da cadeia de abastecimento, que gere não só as interações entre as áreas funcionais de uma empresa, mas também as relações entre as empresas, em si, tendo como fio condutor o canal de fluxo do produto. A cooperação e coordenação estratégica, ente diferentes organizações, permite a redução de custos e um aumento do nível de serviço ao cliente para todas as empresas presentes nesta rede, melhorando assim o desempenho de todos os intervenientes (Carvalho, 2010).

Segundo (Carvalho, 2010), a logística é constituída por três grandes áreas:

- Logística de entrada, trata dos níveis de *stock*, compras e aprovisionamentos;
- Logística interna, lida com o armazenamento, manuseamento e fluxos de todas as atividades do processo produtivo organizacional;
- Logística de saída, que diz respeito a processamento, embalamento e distribuição.

Nos últimos anos verificou-se uma mudança no ambiente logístico, devido ao surgimento de novos desafios nesta área funcional. Segundo (Carvalho, 2010), os novos desafios são:

- O serviço ao cliente, visto que este é cada vez mais exigente, não só com a qualidade do produto, mas também com tudo o que o envolve;
- A compressão do tempo, devido à globalização do JIT. O ciclo de vida dos produtos tem vindo a reduzir, e para que uma empresa seja competitiva tem de garantir uma entrega rápida do produto;

- A globalização da indústria, que leva a que a logística tenha de, por muitas vezes, atravessar fronteiras, o que leva a uma estratégia logística muito diferente e mais elaborada;
- Integração operacional, tendo em conta a generalização da gestão das diferentes áreas.

A Tabela 3 compara as principais diferenças, no processo logístico, de uma abordagem tradicional e de uma abordagem mais focada no *lean* e na redução do desperdício.

Logística tradicional	Logística <i>Lean</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Muito Inventário - Transporte incerto/lento - Processo estático - Custos elevados - Elevado capital investido - Grande <i>stock</i> em funcionamento - Disponibilidade de <i>stocks</i> intermédios elevados - Grande área ocupada 	<ul style="list-style-type: none"> - Pouco inventário - Entrega fiável e rápida - Melhorias contínuas - Investimento reduzido - Redução no investimento de capital - Pouco <i>stock</i> em funcionamento - Racionalização dos pacotes de apoio - Área ocupada reduzida

Tabela 3: Diferenças no processo logístico – Adaptado de (Liker J. , 2004).

2.7.1. Logística Interna

No que diz respeito à logística interna, esta está dividida em três grupos: armazenamento, manuseamento e controlo de fluxos, pelo que o grande foco desta vertente seja o abastecimento das linhas de montagem da organização. É importante adotar um sistema que evite a redução de desvios, levando à uniformização dos processos, e por isso deve ser adotado um sistema que permita a qualquer operador realizar este abastecimento das linhas de montagem de forma idêntica, e que este consiga responder a problemas que surjam no dia-a-dia da organização (Pinto J. P., 2006).

2.8. *Mizusumashi*

O abastecimento de uma linha de montagem fabril divide-se em dois tipos: o manual e o automatizado. O automatizado, como indicado pelo nome, não necessita de qualquer interação humana para realizar o abastecimento da linha, mas encontra as suas limitações na variedade de item que consegue abastecer e caso a variabilidade de produtos seja elevada, não é possível implementar um sistema automático de abastecimento. Os sistemas de abastecimento manual, requerem um operador para controlar o abastecimento de variadas linhas de montagem da fábrica, e permite um abastecimento muito mais barato e mais flexível. Neste grupo insere-se o sistema *Mizusumashi*. Este sistema é benéfico para a empresa visto que permite o abastecimento de linhas que utilizam recursos diferentes, e oferece uma solução barata com uma flexibilidade elevada no que toca à variabilidade de produtos da empresa. (Ichikawa, 2009)

Este sistema *Mizusumashi* é constituído por um veículo de várias carruagens e um operador, pelo qual o mesmo está responsável por o conduzir, abastecer as linhas de montagem ou produção e garantir que este é feito no tempo delimitado, com todos os materiais necessários, na quantidade correta, podendo-se verificar que este sistema tem grande influência na produtividade das linhas de montagem e, por consequência, da empresa. (Nomura & Takakuwa, 2006)

Nos anos cinquenta, o sistema *Mizusumashi*, era utilizado para transferir materiais para a produção, por exemplo, matéria-prima. Mas à medida que o sistema de produção Toyota se foi expandido e evoluindo, este foi transportado para assistir ao abastecimento de materiais no interior da empresa. Hoje em dia, este sistema tem um grande peso nas operações da empresa, na medida em que permitem que o tempo de ciclo dos produtos se torne muito mais curto (Nomura & Takakuwa, 2006). O nível de competitividade no mercado atual aumenta, e uma cadeia de abastecimento eficiente e de baixo custo poderá vir a ser uma vantagem numa empresa. No caso de uma linha produtiva, este sistema vai permitir que esta se torne mais regular, ou seja, que não ocorram faltas de material que poderiam surgir previamente, levando aos mais diferentes ganhos para a organização.

O funcionamento do sistema *Mizusumashi* pode dividir-se em duas formas distintas. Uma primeira cujas operações são baseadas numa lista de prioridades, onde não existe uma sequência pré-definida de operações em que o operador executa a tarefa que estiver pendente. Isto poderá levar a desperdícios nos tempos de deslocação e nos tempos de abastecimento das linhas. Na segunda é definido previamente um percurso para o *Mizusumashi* percorrer, com diferentes pontos de paragem onde o operador irá avaliar que tarefas são necessárias realizar, e caso exista alguma a realizar ele executa-a. Este trajeto pode variar consoante as diferentes necessidades diárias da empresa ou pode ser estabelecido para um fluxo contínuo de abastecimento. Para conter a ocorrência de acidentes entre outros veículos ou mesmo pessoas, ao mínimo, as áreas percorridas pelo *Mizusumashi* devem ser devidamente assinaladas e visíveis por todos e devem ser exclusivas à sua movimentação, devendo ainda existir uma zona de espera na fábrica, para os momentos em que o veículo está parado a aguardar o próximo ciclo de abastecimento (Brar & Saini, 2011).

Nas Figuras 6 e 7, podemos ver como funciona o processo de abastecimento num sistema *Mizusumashi*.

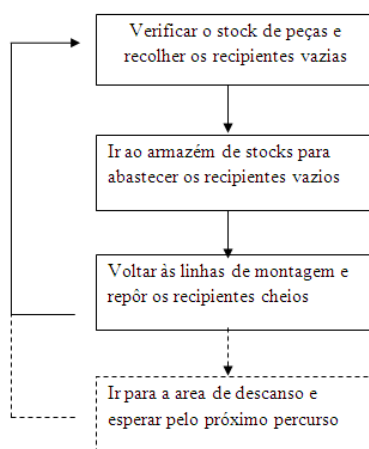


Figura 6: Fases do sistema *Mizusumashi* – traduzido de (Nomura & Takakuwa, 2006)

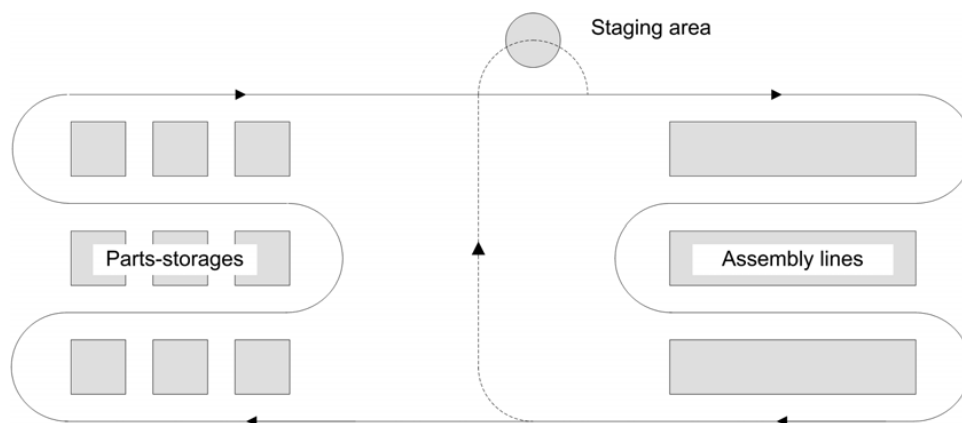


Figura 7: Exemplo de uma rota Mizusumashi – Citado de (Nomura & Takakuwa, 2006)

A Figura 6 Representa as diferentes etapas do sistema *Mizusumashi*. Inicialmente o operador percorre todos os pontos de paragem e recolhe os contentores vazios que traz para o supermercado e volta a encher, com o mesmo material que tinha anteriormente. De seguida volta às linhas e reabastece as mesmas com o material necessário. Quando não há necessidade de efetuar o percurso de abastecimento o veículo fica parado na zona de descanso (Nomura & Takakuwa, 2006).

Para perceber melhor as etapas do sistema, a figura 7 ilustra uma representação virtual de um possível trajeto *Mizusumashi* ao longo de uma área fabril (Nomura & Takakuwa, 2006).

Por fim, a quantidade de contentores em cada uma das diferentes linhas de montagem, representa uma das mais importantes partes num sistema *Mizusumashi*, pois poucos contentores irão levar à falta de peças na linha o que leva à sua paragem. Mas se houver contentores a mais, irá originar-se um excesso dos mesmos nas linhas, o que torna o trabalho dos operadores muito mais penoso e complicado (Nomura & Takakuwa, 2006).

2.9. Investigação operacional

Não é fácil conseguir traduzir o que vulgarmente se apresenta como um foco de interesse ou uma preocupação relativamente vaga num projeto de investigação operacional, mas poderá ser definida como a ciência que procura resolver problemas do nosso dia a dia utilizando a matemática como a base da sua resolução, de modo a apoiar uma tomada de decisão (Quivy & Campenhoudt, 1998). Para (Hillier & Lieberman, 2005) esta área tem como objetivo o apoio na tomada de decisão. comparando e prevendo diferentes estratégias, através de métodos científicos, procurando a melhor forma de projetar um determinado sistema. As suas principais características são a orientação sistemática, a extensibilidade e a aplicação de métodos científicos na gestão das organizações.

2.9.1. Problemas de otimização

Nos dias correntes, qualquer organização tem de ter presente uma estratégia de otimização, pois com um mercado cada vez mais competitivo a cada dia que passa a otimização torna-se uma das ferramentas mais importantes para a implementação e planeamento de operações, permitindo à empresa ganhar vantagem competitiva e apoio na

tomada de decisões. Um processo de otimização de um problema, parte de uma análise detalhada do mesmo, que visa encontrar a base deste problema e, de seguida, tenta associar esse problema a um conjunto de encadeamentos matemáticos. A Figura 8 pretende representar um processo básico de uma modelação matemática para a resolução de um problema simples. (Arenales, Armentano, Morabito, & Yanasse, 2007)

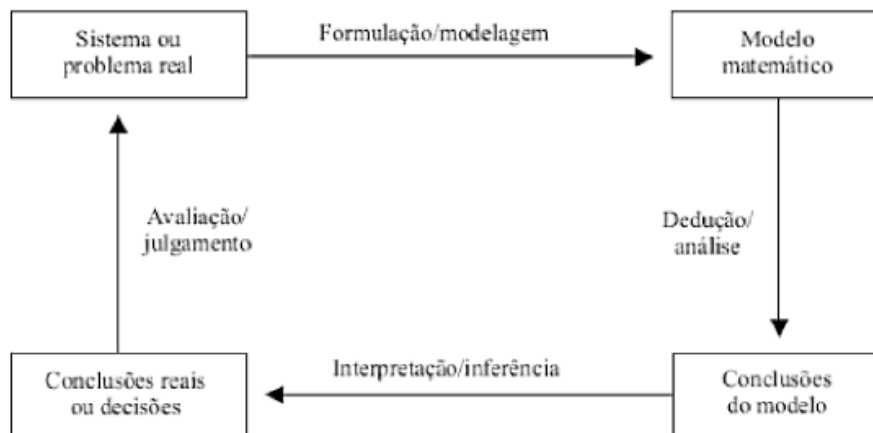


Figura 8: Processo de modelação –Fonte (Arenales, Armentano, Morabito, & Yanasse, 2007)

A formulação/modelação representa a fase do projeto onde são definidas as variáveis e as relações matemáticas para descrever o comportamento relevante do sistema ou problema real. A dedução/análise aplica técnicas matemáticas e tecnológicas para resolver o modelo matemático e visualizar as conclusões que este sugere. A interpretação/inferência argumenta que as conclusões retiradas do modelo têm significado suficiente para inferir conclusões ou decisões para o problema real. Frequentemente, uma avaliação/julgamento dessas conclusões ou decisões inferidas mostra que estas não são adequadas e que a definição do problema e a sua modelação matemática necessitam de uma revisão e, então, o ciclo repete-se. Exemplos de modelos matemáticos são os modelos de programação matemática como: programação linear, programação linear interna, programação em redes e programação não linear (Arenales, Armentano, Morabito, & Yanasse, 2007).

2.9.2. Métodos exatos e métodos heurísticos

Os problemas de otimização podem ser abordados de duas maneiras diferentes, através de métodos exatos ou através de métodos heurísticos. O método exato como o nome indica encontra a solução ideal para o problema, mas por vezes, pode ser um processo demorado e penoso. Por outro lado, os métodos heurísticos permitem atingir resultados razoáveis, mas num intervalo de tempo mais reduzido e menos trabalhoso (Goldbarg & Luna, 2005).

O conceito de limitação polinomial delimita o algoritmo em termos de dificuldade. Algoritmos polinomiais, ou seja, classe P apresenta um número de operações elementares de escala polinomial, que são necessárias para a obtenção de uma solução. Existem também problemas para os quais não é possível definir um algoritmo polinomial para resolver o dilema e encontrar uma solução exata. Estes são denominados de NP-Difíceis e são muito mais complexos sendo o seu tratamento mais espinhoso (Loureiro, Margoto, Varejão, & Queiroga).

2.9.3. *Vehicle Routing Problems (VRP)*

Os *Vehicle Routing Problems* (VRP) foram introduzidos inicialmente por Dantzig and Ramser em 1959 (Dantzig & Ramser, 1959). Também conhecidos como os pais do VRP, realizaram investigações na área dos transportes, distribuição e logística, tendo em conta o número elevadíssimo de problemas que se detetavam na altura, nestas áreas, e assim surgem os primeiros problemas de VRP.

O clássico problema de VRP pode ser formalmente definido da seguinte maneira: se $G = (V, A)$ for um grafo onde $V = [v_0, v_1, \dots, v_n]$ é um vértice ou ponto de paragem definido e $A = [(v_i, v_j): v_i, v_j \in V, i \neq j]$ é um arco definido. v_0 representa um armazém onde os restantes vértices correspondem a clientes. As arestas A estão associadas a uma matriz de custos (c_{ij}) e uma matriz de tempos de viagem (t_{ij}) . Se estas matrizes forem simétricas, como é na maioria dos casos, é comum definir o VRP num grafo indireto $V = (V, E)$ onde $E = [(v_i, v_j): v_i, v_j \in V, i < j]$. Cada cliente tem uma procura não negativa q_i e um tempo de serviço t_i . Existe uma frota de m veículos iguais de capacidade Q . O número de veículos ou é conhecido inicialmente ou tratado como uma variável de decisão. O VRP consiste na elaboração de m rotas de entrega e recolha, e cada uma destas rotas tem de ter presente um conjunto de restrições. Cada rota tem de começar e acabar no armazém. Cada cliente só pode ser visitado apenas uma vez e por um só veículo. A capacidade total dos veículos em cada rota não pode ser excedida, e o tempo total de duração de cada rota não pode ser ultrapassado (Incluindo os tempos de deslocação e os tempos de serviço) e por fim os custos totais têm de ser minimizados (Potvin, Gendreau, Laporte, Cordeau, & Semet, 2002).

O VRP é um problema de otimização combinatória e que apenas em algumas instâncias é possível encontrar uma solução ótima. Isto é devido à sua complexidade computacional que cresce exponencialmente com o aumento do tamanho dos problemas. Por isso, normalmente, a utilização de métodos exatos é substituída por métodos heurísticos, devido a esta dificuldade em encontrar uma solução ótima (Potvin, Gendreau, Laporte, Cordeau, & Semet, 2002).

Tem-se verificado com o passar dos anos uma evolução no desenvolvimento de heurísticas de VRP. Inicialmente, o foco das investigações consistia na resolução rápida e obtenção de um resultado razoável, e seguidamente rentabilizar esta solução através de métodos de melhoria. Mais recentemente, nos últimos dez anos, o foco da investigação aproximou-se mais do desenvolvimento de algoritmos centrados em metaheurísticas, usando principalmente dois princípios: procura local e procura populacional. Os modelos de procura local são executados através de uma procura intensiva do intervalo de soluções, e de seguida este movimenta-se dentro desse espaço, de uma solução para outra, e em cada movimento encontra uma solução melhor dentro desse intervalo de soluções, até atingir a solução ótima. Procura populacional consiste em manter um conjunto de boas soluções e combiná-las para produzir uma solução ainda melhor. Apesar de consumirem mais tempo que as heurísticas, formuladas inicialmente, as metaheurísticas são capazes de produzir soluções de boa qualidade (Potvin, Gendreau, Laporte, Cordeau, & Semet, 2002).

Por fim conclui-se que existem quatro atributos essenciais para que um algoritmo de VRP seja considerado apto para resolver problemas, sendo eles: exatidão, rapidez, simplicidade e flexibilidade (Potvin, Gendreau, Laporte, Cordeau, & Semet, 2002).

Existem diferentes variantes do VRP, de acordo com as características dos problemas que se pretendem resolver:

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)

Tem como objetivo minimizar os custos totais, quer em número de veículos da frota, quer no tempo alocado a cada rota ou à distância percorrida, somando a procura total de cada uma das rotas e estabelecendo um limite máximo para a capacidade do veículo, sendo que este valor nunca pode ser excedido. Nesta variante do VRP todos os veículos têm a mesma capacidade. O CRVP é a variante mais elementar do VRP (Gendreau, Hertz, & Laporte, 1994).

Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem (HFVRP)

Esta variante do VRP é uma melhoria do *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*, onde este apresenta veículos idênticos, como já foi referido anteriormente. O HFVRP mantém a mesma base que o CRVP mas permite a integração de veículos com características diferentes (Gendreau, Hertz, & Laporte, 1994).

Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)

O MDVRP é um método derivado do VRP que permite a existência de vários armazéns que servem um determinado grupo de clientes. Inicialmente os clientes serão alocados a cada um dos diferentes armazéns, normalmente àquele que se encontra mais próximo. De seguida as rotas são traçadas, com o objetivo de ligar os diferentes clientes designados ao mesmo armazém. A rota é iniciada num armazém definido previamente e acaba quando o veículo regressa ao mesmo armazém (Tansini & Vieira, 2006).

Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)

Mais uma variante do VRP, mas o VRPTW acrescenta mais restrições no que diz respeito aos limites temporais, nos períodos de visita aos clientes. Cada cliente é representado por uma janela temporal, um tempo de chegada e um tempo de saída, e dentro deste intervalo o cliente terá de ser visitado. Ao armazém também pode estar associada uma janela temporal que delimita o tempo que o veículo tem para fazer a carga do material, denominado de horizonte de planeamento (Bräysy & Gendreau, 2005).

Caso o veículo chegue após o limite temporal superior estabelecido para um determinado cliente, a solução torna-se não admissível, podendo, no entanto, o veículo chegar antes do limite temporal inferior, mas neste caso o veículo estará sujeito a um tempo de espera adicional (penalização na função objetivo) para poder efetuar a descarga (Bräysy & Gendreau, 2005).

Este problema tem como objetivos a minimização do número de veículos, o tempo total da rota e o tempo de espera necessário para a entrega do produto ao cliente (Bräysy & Gendreau, 2005).

Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP)

O SVRP é utilizado quando um ou mais elementos do problema de planeamento de rotas são aleatórios. Segundo (Laporte & Louveaux, 1998) os novos parâmetros do problema são:

- Clientes aleatórios: cada cliente tem uma probabilidade p de estar presente ou uma probabilidade $(1 - p)$ de estar ausente;
- Procura aleatória: a procura de cada um dos clientes é variável;
- Tempo variável: os tempos de viagem e de serviço no cliente são aleatórios.

Quando um problema toma esta capacidade e alguma das variáveis são estocásticas, deixa de ser possível satisfazer todas as restrições para todos os valores que as variáveis tomam. Sendo assim, este modelo depende da decisão humana em que uma pessoa deve decidir que restrições devem ser respeitadas de acordo com probabilidades e incorporar medidas corretivas para quando uma restrição não for cumprida (Laporte & Louveaux, 1998).

Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP)

O DVRP ou Dynamic Vehicle Routing Problem é várias vezes identificado como mais uma derivação do tradicional VRP. Mas ao contrário do VRP tradicional onde os parâmetros são fixos, no DVRP os parâmetros e a dimensão do problema sofrem alterações em tempo real, levando a que veículos que já se encontram em circulação e a executar a distribuição do produto, possam receber novos pedidos, conduzindo à alteração das rotas, no momento. Poderá ainda existir uma variação do número de veículos, da capacidade destes, da localização de novos clientes, entre outros (Laporte, The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms, 1992).

Vehicle Routing Problem with Split Deliveries (VRPSD)

O *Vehicle Routing Problem with Split Deliveries* é um problema em que a restrição de visitar apenas um determinado cliente por um único veículo, é retirada se conduzir a uma redução de custos. Este problema é utilizado em casos onde a dimensão dos pedidos, por parte dos clientes, estão muito próximo da capacidade máxima dos veículos da organização. Isto leva à adição de mais uma variável referente à quantidade de produto que cada veículo irá transportar para um determinado cliente, para satisfazer o seu pedido. Este modelo foi apresentado por Trudeau e Dror em 1959.

Capítulo III – Caso de estudo

3.1. Apresentação da empresa

A 1 de Março de 1954 surge a empresa Oliveira & Irmão S.A., uma pequena empresa familiar que atravessou várias áreas de negócio até que nos anos 80 é criada uma unidade de produção de autoclismos. Em 1993 passou a integrar o Grupo Fondital, sediado em Itália. É um Grupo com cerca de 2600 colaboradores, e presente em quatro setores de atividade (aquecimento, alumínio, hidráulica e cromagem, e antifogo).

A Oliveira & Irmão, S.A. é constituída por uma área total de 82 mil metros quadrados, onde é feito o controlo de toda a cadeia de valor, desde o aparecimento da ideia até à sua industrialização e produção, e também a sua comercialização em mais de 70 países de todo o mundo.

Esta empresa tem apostado num *design* contemporâneo e na escolha de novas tecnologias e materiais, tendo como principal preocupação o conceito de eficiência hídrica e respeito pelo meio ambiente, tornando a OLI uma referência mundial e uma marca de excelência. Possui um total de 380 colaboradores e um nível de faturação na ordem dos 48,5 milhões de euros em 2016. A OLI tem atualmente uma produção diária de cerca de 7.800 autoclismos e 31.800 mecanismos, transformando-a numa das primeiras a nível europeu na produção de mecanismos para a indústria cerâmica, de autoclismos interiores e autoclismos exteriores, sendo também a única empresa portuguesa a produzir autoclismos interiores.

Existem produtos da OLI espalhados por todo o mundo em alguns edifícios de referência mundial entre eles a torre dos Clérigos no Porto e a Bayat Towers Jeddah na Arábia Saudita. O trabalho desenvolvido diariamente está presente nestas obras, espalhadas pelo mundo, e é fruto de um intenso trabalho de investigação, desenvolvimento, inovação e aposta na qualidade e melhoria contínuas.

“Antecipar necessidades. Encontrar soluções de futuro”

Este é o lema da OLI, e por isso existe um laboratório de testes de vida, equipado com toda a tecnologia de ponta, possibilitando que esta empresa esteja na vanguarda no que concerne à investigação e à inovação, sempre dentro do conceito da eficiência hídrica e respeito pelo meio ambiente. Este laboratório destina-se a testes que permitem estar dentro das normas das certificações dos produtos, em todos os mercados do mundo, e a testes com todos os tipos de águas por estarem conscientes de que a água é, cada vez mais, um recurso esgotável. Por este motivo já conceberam produtos que permitem poupar, em média, até 9 litros de água por dia; e um autoclismo autossustentável que utiliza a energia criada pela água para efetuar a descarga. Os testes com os mais variados tipos de água servem ainda para verificar como os seus produtos reagem às diferentes adversidades.

3.1.1. Processo de fabrico

A empresa encontra-se dividida em três áreas: a zona dos escritórios, mais conhecida como octogonal, um armazém na zona industrial de Aveiro, mais conhecido por AZIA, usado para expedição e armazenamento do produto final e por fim a fábrica em si. A fábrica está dividida em diferentes departamentos, entre eles o departamento de operações e Planeamento (DOP), logística industrial (DLI), engenharia (DEN), manutenção industrial (DMI), melhoria contínua (DMC) e compras (DCP) (aprovisionamentos e receção técnica). Cada um destes departamentos tem um responsável. Existe ainda um diretor industrial, responsável por todas as operações dentro da fábrica. Esta empresa trabalha num regime de três turnos de oito horas por dia, ou seja, vinte e quatro horas, durante sete dias por semana.

O processo de fabrico inicia-se com a injeção das peças em plástico na zona das máquinas automáticas. Existem 56 máquinas automáticas, onde são produzidas peças de pequena e média dimensão em quatro tipos de matérias-primas diferentes, Poliestireno (PS), Polipropileno (PP), Polióxido de Metileno (POM) e Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS). Depois de injetadas as peças têm três destinos diferentes, ou para o armazém da logística, onde serão armazenadas, para quando for necessário, serem levadas para as linhas de montagem, ou diretamente para supermercados. Este processo é para peças que são usadas regularmente. Estas peças, são armazenadas em supermercados perto das linhas de montagem para que o acesso às mesmas seja mais rápido e eficaz. Outro destino para as peças é o moinho. Este caminho está destinado a peças não conformes e que não poderão ser usadas posteriormente na montagem do produto final. Estas serão moídas e reduzidas novamente a matéria-prima para ser usada outra vez no processo de injeção.

Depois de fabricados os produtos básicos para a construção de autoclismos, seguimos para a fase de montagem do produto final. A montagem dos produtos está dividida por sete áreas distintas: as áreas das torneiras, válvulas, autoclismos interiores, autoclismos exteriores, placas/blisters/CBT, estruturas e mecanismos. A zona de montagem de mecanismos também corresponde à montagem de torneiras e válvulas, mas estas serão vendidas diretamente ao consumidor final, ao contrário dos mecanismos montados na zona das torneiras e válvulas, que têm como destino a remontagem em autoclismos, exteriores ou interiores. Algumas das linhas de montagem têm máquinas semiautomáticas, que são máquinas de maior porte que injetam peças de grande dimensão. Existem 14 máquinas semiautomáticas espalhadas pela fábrica, que produzem diretamente para a linha de montagem. Existe ainda uma pequena linha de montagem de sacos de acessórios, que vão acompanhar o produto final para posteriormente o consumidor conseguir montar o autoclismo em sua casa.

Por último, o produto final é enviado para a zona da expedição, onde fica armazenado até ser transportado para os quatro cantos do planeta e chegando assim ao consumidor.

A fábrica tem ainda uma zona de produção à parte do processo descrito anteriormente, chamada de Twins. Esta área é destinada à produção de autoclismos falsos e foi separada da restante área fabril, pois tem um fluxo de produção contínuo, não necessitando de um armazém para as peças. O Twins tem as suas próprias máquinas de injeção automáticas e semiautomáticas (num total de 7) e as suas próprias linhas de montagem, permitindo que todo o processo de fabrico esteja confinado num pequeno espaço levando a uma maior otimização do processo em si.

3.1.1.1. Áreas em estudo

O projeto irá focar-se em duas fases fulcrais que são abrangidas por dois processos diferentes (Figura 9).

Uma das partes do projeto será focada no processo de injeção que está a cargo do departamento de operações e planeamento. Será ainda realizado um estudo no processo de abastecimento, pelo qual o departamento da logística industrial é responsável.

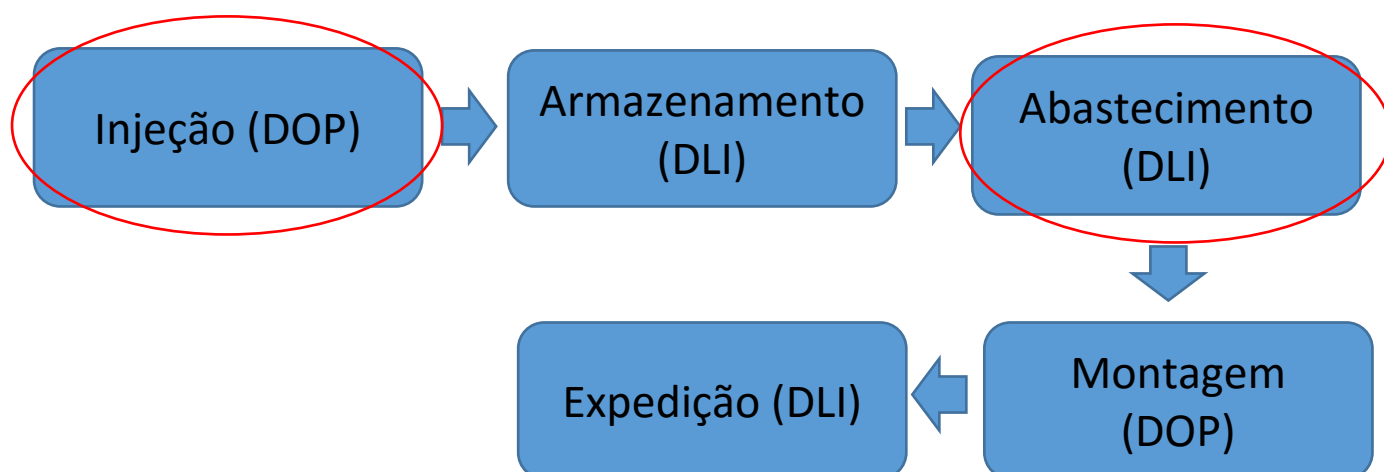


Figura 9: Fluxo de peças

3.1.1.2. Departamento de operações

Este departamento é responsável por todas as operações relacionadas com o fabrico do produto final. Está dividido em quatro secções distintas, produção, planeamento, produto acabado e qualidade. Cada um destes grupos tem um responsável que responde ao encarregado do departamento de operações:

- A secção da produção está incumbida de todas as atividades que envolvem injeção de plástico, ou seja, responsável por toda a maquinaria tanto automática como semiautomática e pelo abastecimento das mesmas.
- A secção do planeamento tem a seu cargo o planeamento de produção da parte da injeção de plásticos e das linhas de montagem.
- A secção do produto acabado é responsável pelas sete diferentes áreas de montagem de produtos, neste grupo também está inserido o responsável pela produção do Twins.
- Por fim a secção da qualidade, tem como objetivo garantir a qualidade e o funcionamento do produto em todas as áreas da fábrica, desde a injeção até à montagem.

Como referido anteriormente a secção da produção é responsável pela injeção de plástico, e dentro desta existem três grupos distintos de equipas de funcionários, o grupo dos materiais e moinhos, o das máquinas automáticas e o das semiautomáticas.

- O grupo dos materiais tem como função o abastecimento de matérias-primas e pigmentos das máquinas automáticas e semiautomáticas, e é também responsável trituração dos materiais no moinho, reciclando assim as matérias-primas.
- O grupo das automáticas está encarregue pela separação e paletização das peças para depois serem enviadas para o armazém ou para os supermercados e também pelas mudanças de moldes das máquinas automáticas, consoante as necessidades de produção.
- O grupo das semiautomáticas tem a seu cargo a mudança de moldes das máquinas semiautomáticas e a preparação das produções da produção das mesmas.

3.1.1.3. Processo de injeção

O processo de injeção de peças inicia-se quando existe uma necessidade de material. Depois de analisada essa necessidade, é elaborado o planeamento de produção. De seguida é aberta uma ordem de fabrico (OF), que é o ponto inicial do processo de injeção de peças. A OF é aberta através de dois *softwares* distintos, o IFS, que é abrangente a toda a fábrica e tem como objetivo garantir o fluxo de informação para toda a empresa e o STAIN, um *software* utilizado apenas na injeção que permite o controlo das máquinas e da produção. Estes dois *softwares* estão ligados, mas não estão totalmente interligados.

Depois de aberta a OF a produção está registada nos sistemas (IFS e STAIN), prosseguindo-se com a instalação do molde na máquina e com o abastecimento de matéria-prima. Este só acontece caso haja necessidade de mudança em relação à produção anterior (Figura 10). Estas mudanças são efetuadas por uma equipa, constituída por um mudador de moldes e um técnico de injeção. Depois da preparação da máquina, o técnico faz o registo de início de produção no sistema informático (STAIN) e inicia a produção. Este apenas abandona a máquina quando verifica que a mesma está a executar bem, e as peças a ser produzidas consoante os requisitos necessários. Cada equipa realiza em média 13 mudanças de moldes por dia de trabalho, sendo que num dos turnos há duas equipas a trabalhar em simultâneo. Em cada um dos restantes turnos, uma única equipa. Fazem-se em média 52 mudanças de moldes por dia de trabalho. Existe ainda, em cada um dos turnos, um técnico de apoio, responsável por resolver os problemas que vão surgindo, durante o dia a dia, relacionados com a injeção de peças não conformes ou paragens de máquina.

Depois de iniciada a produção, a máquina fica atribuída a um dos operários responsáveis pela separação, embalagem e paletização das peças. Cada um destes operadores está responsável por um setor que contém aproximadamente 12 máquinas. Estão inseridos numa equipa de cinco pessoas, uma por cada um dos quatro setores e um chefe de equipa. Existem cerca de 1200 moldes e cada molde produz uma ou várias peças, podendo produzir peças iguais ou diferentes. O operador começa pela preparação do posto de trabalho, ou seja, adquirir os materiais necessários para a receção, separação e contentorização das peças, desde caixas, paletes, passarelas de separação, caso seja necessário, etc. Dependendo do molde, o processo pode diferir. Existem moldes simples que apenas produzem uma peça, que cai diretamente na caixa. Neste caso o operador só tem de colocar as caixas nos paletes, mas existem moldes que produzem várias peças diferentes e ainda um grito, que é um veio condutor do plástico até às cavidades do molde, que permite injetar mais do que uma peça em

simultâneo. Nestes moldes mais complexos, o operador tem de separar as peças diferentes e o gitos, podendo recorrer a passadeiras de separação, mas estas não são 100% eficazes. Assim, o operador tem de colocar as peças nas respetivas caixas, as caixas nas paletes e separar os gitos para um contentor de reciclagem que será enviado posteriormente para os moinhos. Existem ainda algumas peças que depois de injetadas terão de ser cromadas. Nesta situação as peças são retiradas do molde por um robô, que coloca as peças numa passadeira rolante, depois o operador tem de as empilhar para evitar ao máximo o surgimento de riscos, devido ao processo de cromagem.

Para além do processo anteriormente descrito, os operários têm ainda de tentar resolver os problemas das máquinas, caso sejam problemas de fácil resolução, ou encaminhar o problema para o chefe de equipa. Têm também de registar as produções no programa informático para as peças poderem ser transportadas para o armazém da logística. Outra operação a realizar é o autocontrolo, sendo esta realizada de três em três horas, tendo como objetivo a validação da qualidade das peças injetadas. O operador realiza o autocontrolo em todas as máquinas que estão a produzir no seu setor, seguindo as indicações da FIC (Ficha de indicação de controlo). O tipo de autocontrolo pode ser visual, comparação da peça com um desenho base; dimensional, medição de diferentes cotas; funcional, testar a peça através da montagem ou através de um calibre, caso seja necessário um controlo mais detalhado da peça. As peças podem estar sujeitas a um só tipo de autocontrolo ou a vários. Depois de realizados todos os autocontroles, o operador faz o registo no sistema informático, e caso as peças estejam conformes a produção continua. Caso contrário, o operador para a produção e chama o chefe de equipa para tentar solucionar o problema, enviando as peças para o “aguarda decisão” (AGD) onde se decide se são ou não recicladas.

O chefe de equipa está responsável pelos problemas que os operadores lhe encaminham e caso não os consiga resolver, deve encaminhá-los para o técnico de apoio. Tem ainda duas máquinas pelas quais é responsável, e que requerem especial atenção. Para além disso está encarregado de mudar matérias-primas e pigmentos caso seja necessário, de todas as máquinas.

Representado na Figura 11 estão os diferentes setores representados, o setor 1 está delineado a vermelho, o setor 2 a amarelo, o 3 a azul e o 4 a verde. Temos ainda duas máquinas delineadas a lilás que estão ao cargo do chefe de equipa.

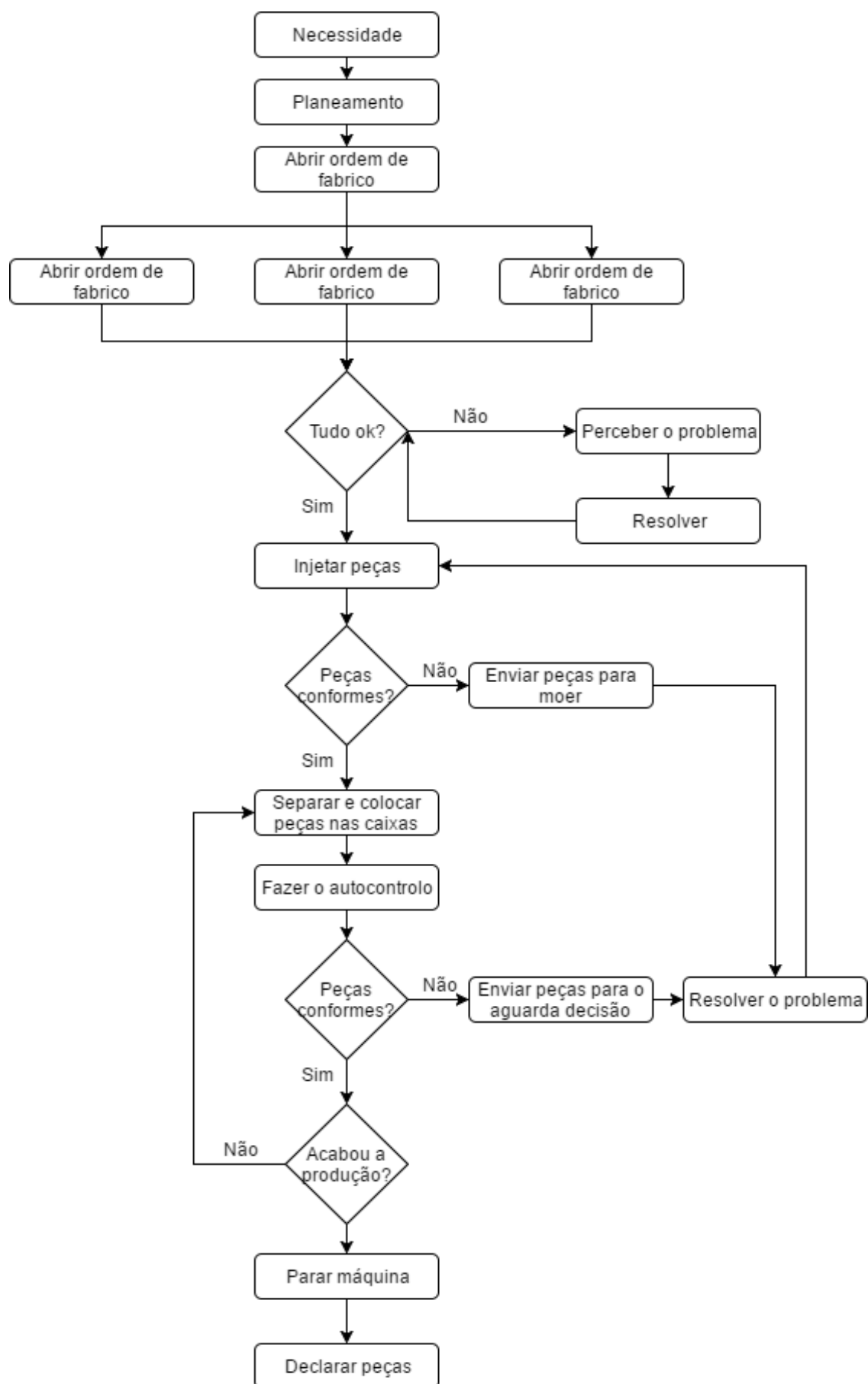


Figura 10: Processo produtivo da área de injeção

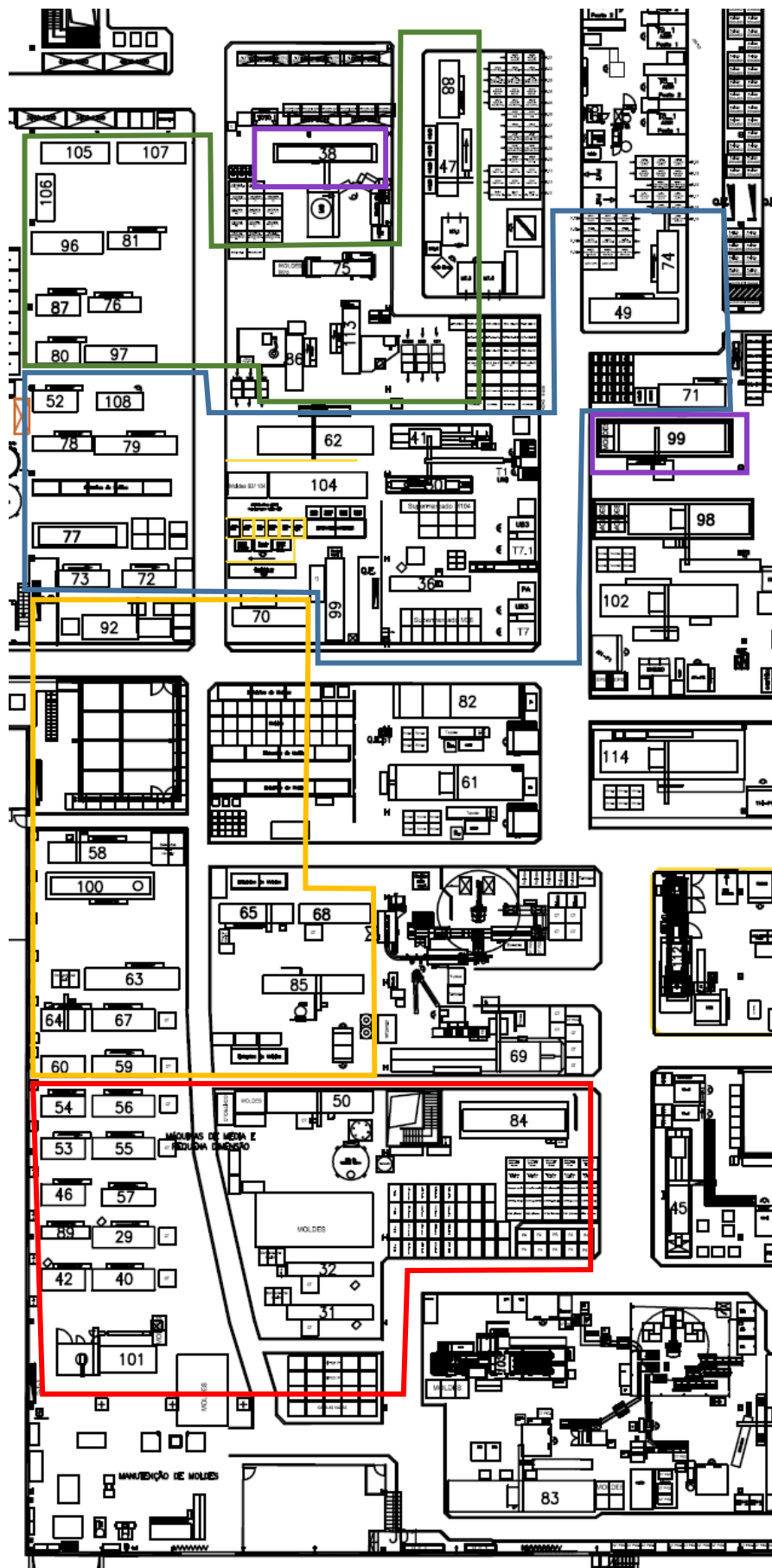


Figura 11: diferentes setores da fábrica

O “Aguarda decisão” é um local para onde todas as peças não conformes são enviadas, onde posteriormente os colaboradores da secção da qualidade têm de decidir se as peças vão diretamente para o moinho, para serem recicladas, ou se serão aproveitadas assim mesmo como estão enviando-as para o armazém, ou se será necessário a realização de retrabalho.

Caso seja necessário a realização de retrabalho, este será realizado pelos operadores que realizam a separação de peças, normalmente em horário extraordinário. Só em caso de terem o setor um pouco mais folgado, é que fazem um pouco de retrabalho durante a hora de expediente no “aguarda decisão”. Este retrabalho depende da não conformidade, podendo ser: rebarbar, separar ou limpar. No fim da realização do retrabalho as peças conformes são declaradas no sistema dando-se seguimento das mesmas para o armazém.

3.1.1.4. Departamento de Engenharia

O departamento de engenharia é responsável por todo o tipo de otimizações e mudanças a realizar na fábrica, desde mudanças de *layouts* até à otimização de linhas de montagem. Existem 7 colaboradores, sendo um deles o responsável do departamento e os restantes 6 têm diferentes tarefas atribuídas. Quatro dos colaboradores são responsáveis por diferentes secções da fábrica, estando incumbidos de realizar todos os projetos de otimização e melhoria das mesmas e ainda resolver todo o tipo dos problemas que vão surgindo no dia a dia, tratando também do contacto com entidades externas, e, caso seja necessário, apoio para a resolução das diversas situações. Existem ainda dois outros colaboradores responsáveis pelo contacto com as outras fábricas do mesmo grupo. Um é responsável pelo processo de cromagem que é feito em Itália e o outro responsável pelo estabelecimento e desenvolvimento da nova fábrica na Rússia.

Um desses colaboradores é o responsável pela otimização e mudanças relacionadas com logística, transportes e implementações, visto que o caso de estudo se vai inserir neste setor, será explicado mais detalhadamente, no seguimento do trabalho.

3.1.1.5. Departamento de Logística

O departamento da logística está dividido em quatro setores distintos, armazenamento, abastecimento, descargas e expedição. Todo o departamento é controlado por um responsável que gere as equipas dedicadas a cada um dos diferentes setores.

- A equipa de armazenamento tem como função o transporte do material produzido, arrumá-lo no armazém, e por fim, abastecer os supermercados para que os *mizus* tenham material disponível.
- A equipa do abastecimento é responsável por abastecer as linhas de montagem utilizando um sistema de comboios logísticos (*mizusumashi*), e recolher as caixas vazias que vão ficando nas linhas de montagem. Existe ainda o abastecimento direto às linhas de montagem sem a utilização de comboios para materiais de maior dimensão que são transportados por um empilhador, como por exemplo o esferovite.
- A equipa das descargas está incumbida de receber todo o material que vem dos fornecedores da empresa, registar esse material no sistema informático e por fim, armazenar esse material nas estantes do armazém.

- A equipa da expedição responsabiliza-se pelo armazenamento e arrumação do produto final, e por último, pela colocação deste material nos camiões de transporte que vão levar o produto para o cliente final.

3.1.1.5.1. Processo de abastecimento

Como referido anteriormente o abastecimento está dividido em duas partes distintas, o abastecimento das linhas de montagem e o abastecimento dos supermercados.

O abastecimento das linhas de montagem é assegurado por parte dos *mizus* (Figura 12), à exceção de elementos de maior dimensão que são abastecidos por um empilhador. Cada um dos três turnos tem um diferente número de rotas. No primeiro turno existem seis rotas distintas de abastecimento, no segundo turno existem cinco e no terceiro turno existem quatro rotas (Tabela 4). Esta diferença deve-se, à desigual carga de trabalho nos diversos turnos.



Figura 12: Foto do comboio logístico *misusumashi*

O processo inicia-se com o abastecimento das carruagens do *mizu* com os materiais necessários para as produções dos diferentes postos de montagem (Figura 13). Cada carruagem está atribuída a um ou dois postos de montagem e está identificada com a *query* de produção, isto é, os materiais necessários para a realização dessa produção. No caso de ser o início de uma nova produção, a operadora abastece a linha com a quantidade de material necessário, ou no caso de ser uma produção grande, abastece a linha de montagem com a capacidade máxima. Depois de passar em todos os supermercados, para abastecer o *mizu* com as quantidades necessárias para garantir a produção, este segue em direção às diferentes linhas de montagem fazendo o abastecimento e retirando as caixas vazias, resultantes do uso de material. Quando retorna ao supermercado, troca as caixas vazias por caixas cheias de material, para garantir de novo o abastecimento da linha. No supermercado, faz ainda a gestão dos *kamban's* resultantes das caixas vazias. Esta gestão é feita através de uma caixa de construção de lote, que quando esta enche, o operador encaminha o conjunto de *kamban's* para os colaboradores responsáveis pelo abastecimento dos supermercados, garantindo assim que o produto nunca falta nos supermercados. Esta equipa, responsável pelo abastecimento dos supermercados, é constituída por três colaboradores.

Como já referido anteriormente o primeiro turno é o que tem maior carga de trabalho e cada uma das seis rotas está atribuída a um grupo de produto. Temos as seguintes rotas:

1. Rota dos “Exteriores” (EXT), responsável por abastecer todas as linhas de montagens associadas às montagens de autoclismos exteriores;
2. Rota dos “Interiores” (INT), dedicada ao abastecimento das linhas de montagem de autoclismos interiores;
3. Rota das “Válvulas” (VAL), assegura o abastecimento das linhas de montagem de válvulas;
4. Rota das “Torneiras” (TOR), atribuída às linhas de montagem de torneiras;
5. Rota dos “Mecanismos” (MEC), encarregada de abastecer as linhas de montagem de válvulas e torneiras já destinadas ao cliente final, ou seja, venda avulso;
6. Rota das “Placas, Blisters e CBT” (PLC), destinada a abastecer todos os postos de montagem de placas.

No segundo turno, são efetuadas as mesmas rotas mas no caso da rota das “Válvulas” e dos “Mecanismos” é utilizada apenas uma, consoante as necessidades produtivas diárias da fábrica, resultando em cinco rotas e por fim, no terceiro e último turno, não é efetuada a rota das “Placas” e a rota dos “Mecanismos”, ficando este com quatro rotas.

Turno	“Interiores” (INT)	“Mecanismos” (MEC)	“Válvulas” (VAL)	“Placas” (PLC)	“Exteriores” (EXT)	“Torneiras” (TOR)
1º (8:00h – 16:00h)	X	X	X	X	X	X
2º (16:00h – 24:00h)	X	X		X	X	X
3º (00:00h – 8:00h)	X		X		X	X

Tabela 4: Rotas de abastecimento de linhas de montagem por turno

Para além do transporte e abastecimento de material transportado em contentorização *standard* da empresa, o operador do *mizu* transporta e abastece outros tipos de materiais e realiza outras operações. Dentro destes materiais está o cartão, com um supermercado dedicado apenas a ele, que exige uma carruagem especial para o seu transporte. Todas as rotas passam neste supermercado, pois a maioria das linhas de montagem necessita de cartão para o embalamento do produto final. O esferovite, como referido anteriormente, é transportado por um empilhador pois vem acomodado dentro de grandes gaiolas. O operador do empilhador deixa esta gaiola próximo do posto de montagem que necessita dele e mais tarde o operador do *mizu* só tem de o retirar o esferovite da gaiola e colocá-lo na linha de montagem. Apenas algumas linhas de montagem específicas necessitam de esferovite. Existem mais duas rotas com duas operações distintas das outras rotas. Na rota dos exteriores, o operador tem de abastecer uma máquina semiautomática que produz autoclismos exteriores e na rota dos interiores o operário tem de dar apoio a um dos seus colegas na construção de carros de *kit’s*. Estes carros são construídos para dar apoio à produção de estruturas, e como esta produção requer um número elevado de peças de grandes dimensões, seria complicado construir um supermercado dedicado a essa produção. Então constroem-se estes carros, que são abastecidos com os diferentes materiais necessários para a produção de estruturas.

Finalmente, apesar de a maior parte do processo de abastecimento ser feito utilizando o *mizu*, existem ainda algumas zonas na fábrica onde este não é capaz de chegar. Neste caso, o operador tem de desatrelar a carruagem do comboio, movimentar a mesma, a pé, para perto da linha de montagem para fazer o seu abastecimento, e por fim, voltar a atrelar a carruagem ao *mizu*.

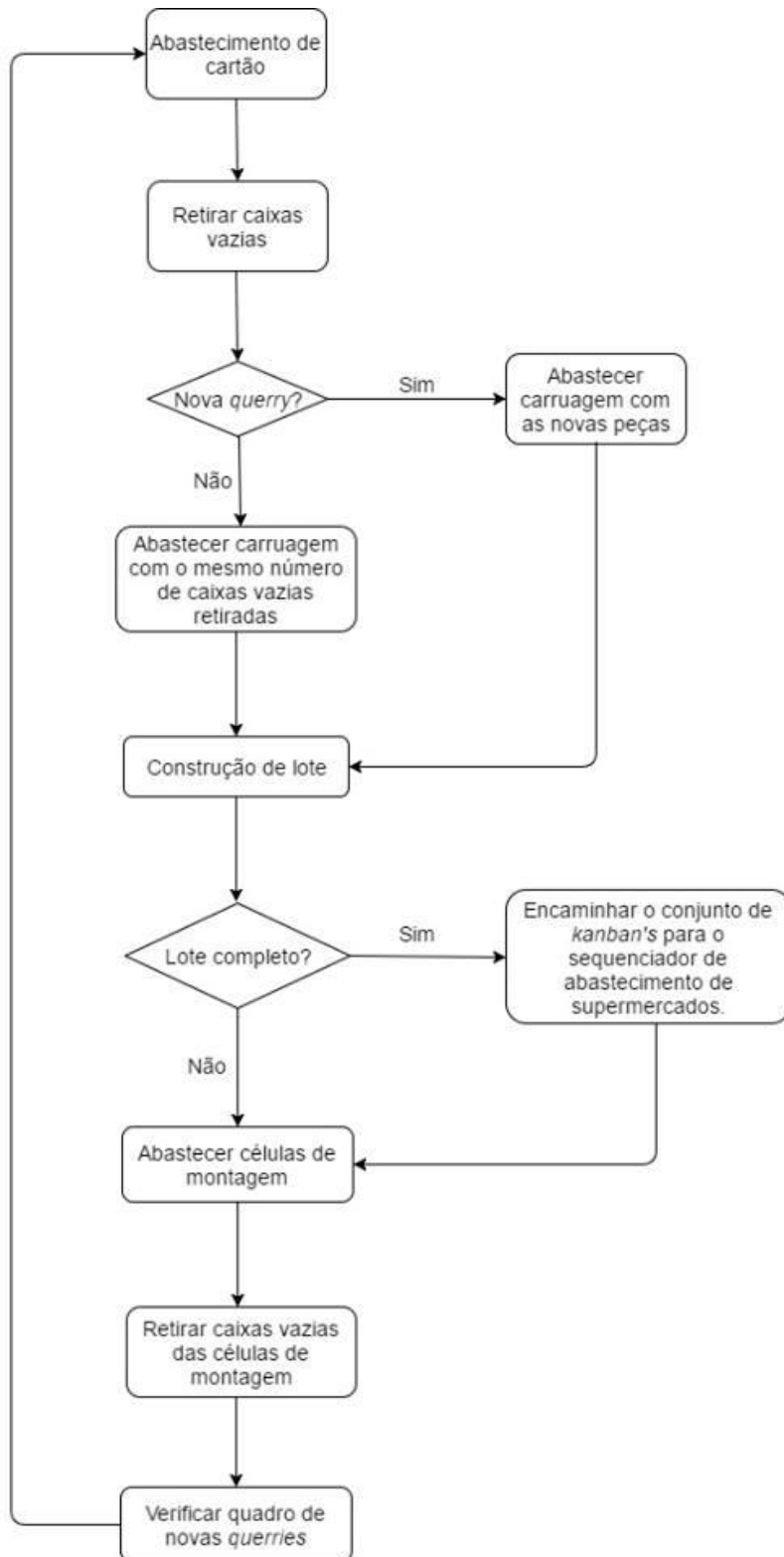


Figura 13: Processo de abastecimento das linhas de montagem

3.2. Situação Inicial

O objetivo principal deste trabalho passa por otimizar dois processos: um de separação e embalagem de peças e outro de abastecimento de linhas de montagem, para aumentar a produtividade da fábrica.

Para perceber melhor o processo foi feita uma avaliação inicial acompanhada de uma recolha de dados, para compreender realmente onde estão os problemas, sendo que o objetivo será melhorar esses tempos.

3.2.1. Automáticas

Na zona da injeção, existiam anteriormente pequenas áreas de organização do posto de trabalho, como é possível verificar na Figura 14. Havia uma área para organização do processo de separação de peças, outra área para o posicionamento das paletes, outra para o contentor do pigmento, etc.. O problema é que estas áreas não estavam a ser respeitadas (Figura 15) e o operador continuava a organizar o posto de trabalho do modo que ele achava correto, originando, frequentemente, um posto de trabalho ineficiente.

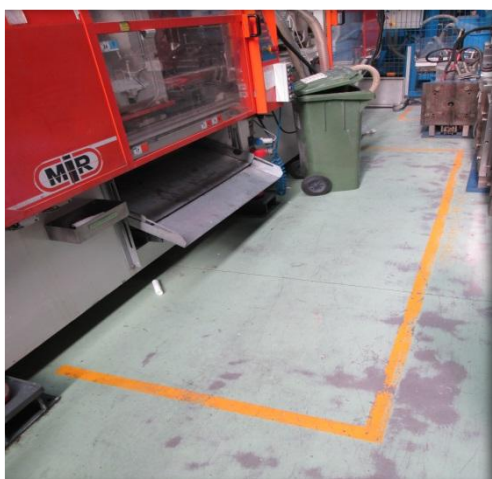


Figura 14: Área definida para a organização do posto de trabalho



Figura 15: Foto da desorganização dos setores

3.2.2. Abastecimento

Em relação ao processo de abastecimento, as rotas eram fixas, não existindo qualquer adaptação às mais diversas situações, levando a que quando existia um impedimento no trajeto do *mizu* o percurso era alterado. Independentemente de o impedimento ser de curta ou longa duração, a rota era recalculada pelo responsável do departamento da logística, o que poderia levar à ineficiência do processo de abastecimento.

Podemos ver nos Anexos 1,2,3,4,5 e 6 o *layout* da fábrica com as diferentes rotas de abastecimento das linhas de montagem.

3.2.3. Análise Inicial

De seguida, foi realizada uma análise detalhada, para podermos perceber a situação atual em que se encontram os processos e onde existe oportunidade de melhoria.

3.2.3.1. Processo de separação (Automáticas)

Começando pela análise do processo de separação e embalagem de peças, na zona das máquinas automáticas, foi realizada uma recolha de tempos das diferentes operações que o operador tem que realizar (Tabela 5). O foco do estudo serão os processos de separação de peças, separação de gitos, embalagem de peças, paletização de caixas e preparação do posto de trabalho. As restantes operações não estão diretamente envolvidas com a definição de *layouts* e otimizações dos postos de trabalho. Esta recolha de tempos foi dividida em setor, máquina, operador e molde, para seguidamente ser possível realizar uma análise mais detalhada do processo.

					Tempo das diferentes tarefas (seg)					
MAQ 106	Dia	Turno	Operário	Molde	Separar Peças	Separar Gitos	Peça nas Caixas	Caixas nas Paletes	Tempo Total (seg)	Observações
	14/set	2º	Ricardo Gomes	55	40	4	5	5	54	
					135	8	12	6	161	
	15/set	1º	Johnatan	255		13	5		18	Caixa de cartão
						20	16		36	Caixa de cartão
						8	4		12	Caixa de cartão
	04/out	1º	Bruno	80	62	58	3	15	138	
					64	53	3	4	124	
					34	42	3	6	85	
					35	49	3	5	92	
	04/nov	1º	Marco Barros	55			36	49	85	
						7	142		149	
						144	125		269	
Média					61.67	36.91	29.75	12.86	101.92	

Tabela 5: Exemplo das amostras recolhidas para o processo de separação de peças

Foram ainda retirados tempos a outros processos do dia-a-dia dos operadores, que apesar de não serem o foco do estudo, irão ser afetados depois de implementados os novos *layouts* e o novo método de trabalho (Tabela 6). Verificou-se também, que ao preparar a produção, o operador despendia bastante tempo à procura das caixas vazias que tinham sido trazidas pelo colaborador da logística, pois nunca são deixadas no mesmo local.

Outros tempos		Observações
Tarefa	Tempo médio (seg)	
Montagem passadeira	330	
Paragem/avaria de máquina, reiniciar produção	150	
Buscar caixas/caixotes/paletes à Logística	180	
Preparar nova produção	165	
Fecho de produção (registo e entrega de palete)	180	
Registo do auto controlo	160	
Recolha de 1 injeção por máquina para auto controlo	230	
Auto-controlo	540	
Limpeza do espaço de trabalho (chão ao pé das máquinas)	130	

Tabela 6: Média dos tempos de outros processos realizados pelo operador responsável pela separação de peças

Depois de retirados os dados necessários para todas as máquinas dos quatro setores, foram calculados os tempos médios para cada setor, para percebermos quanto tempo gasta um operador a realizar as diferentes operações e o tempo total médio do processo (Tabela 7).

Médias Totais (seg)					
Setor	Separar Peças	Separar Gitos	Peça nas Caixas	Caixas nas Paletes	Tempo Total
1	146.18	51.93	59.74	29.75	83.22
2	130.27	74.82	75.12	22.78	91.25
3	27.85	46.08	31.88	19.88	45.72
4	39.69	39.90	38.40	15.65	66.06
Total	86.00	53.18	51.29	22.01	71.56

Tabela 7: Médias totais de cada setor e total de cada um dos processos

Posteriormente foi feita uma análise mais detalhada destes tempos através de diagramas de Pareto. Realizaram-se análises aos diferentes setores para verificar qual o setor crítico; às diferentes máquinas para saber qual o processo crítico em cada uma delas; e aos operadores, para verificar em que máquinas é que existem mais problemas.

Concluiu-se que o Setor crítico é o setor 2, sendo que o setor 1 também está dentro dos 80% mais críticos (Gráfico 1).

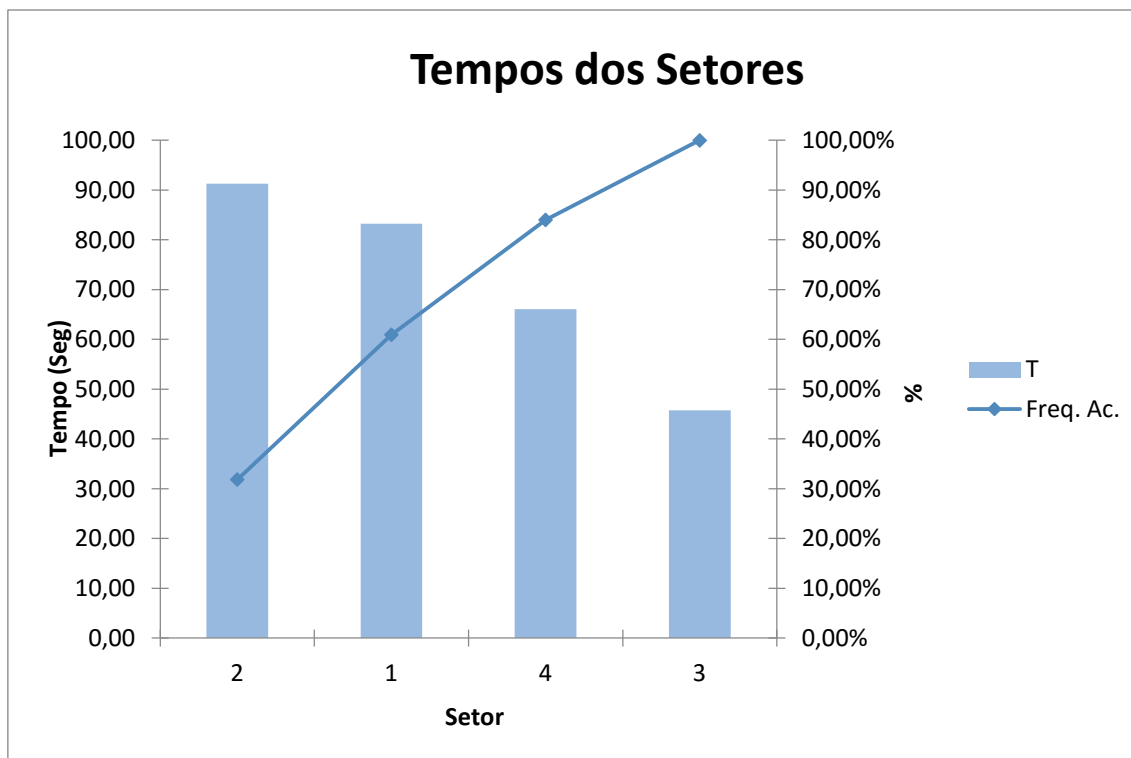


Gráfico 1: Diagrama de Pareto dos Setores

Depois de analisado o setor crítico analisaram-se as máquinas críticas em cada um dos setores (Gráficos 2 a 5), para perceber o porquê de haver máquinas com tempo de processamento maior.

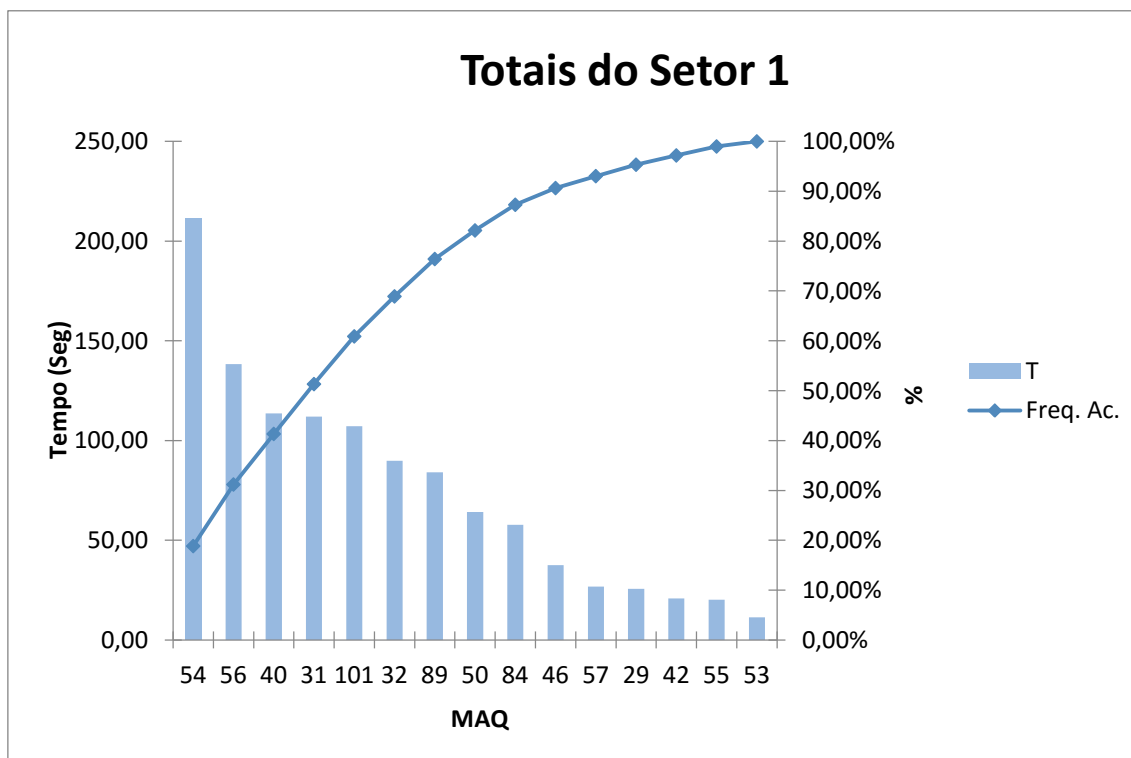


Gráfico 2: Diagrama de Pareto dos tempos do Setor 1

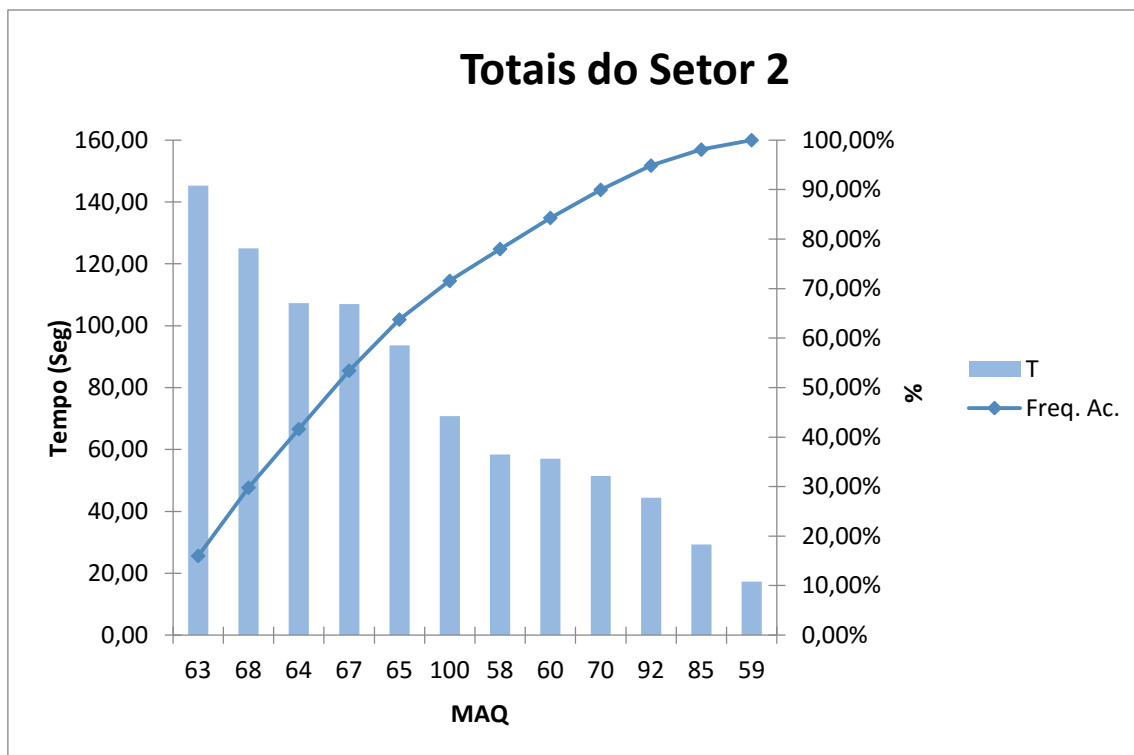


Gráfico 3: Diagrama de Pareto dos tempos do Setor 2

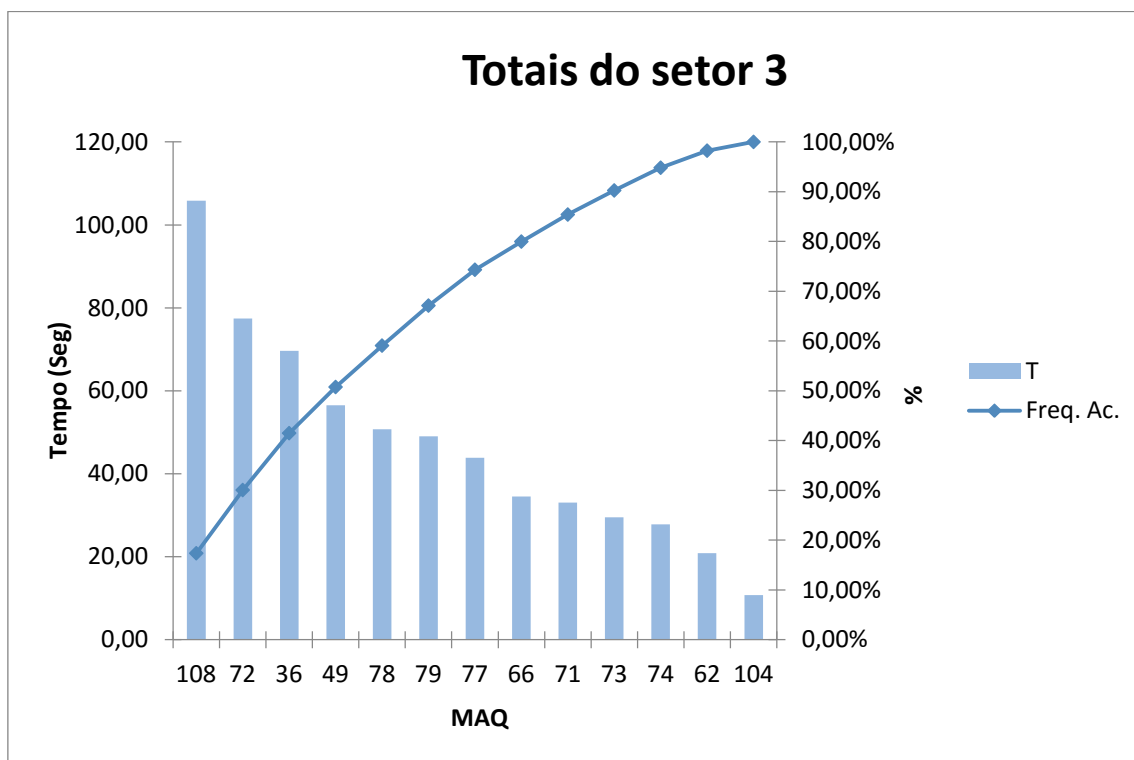


Gráfico 4: Diagrama de Pareto dos tempos do Setor 3

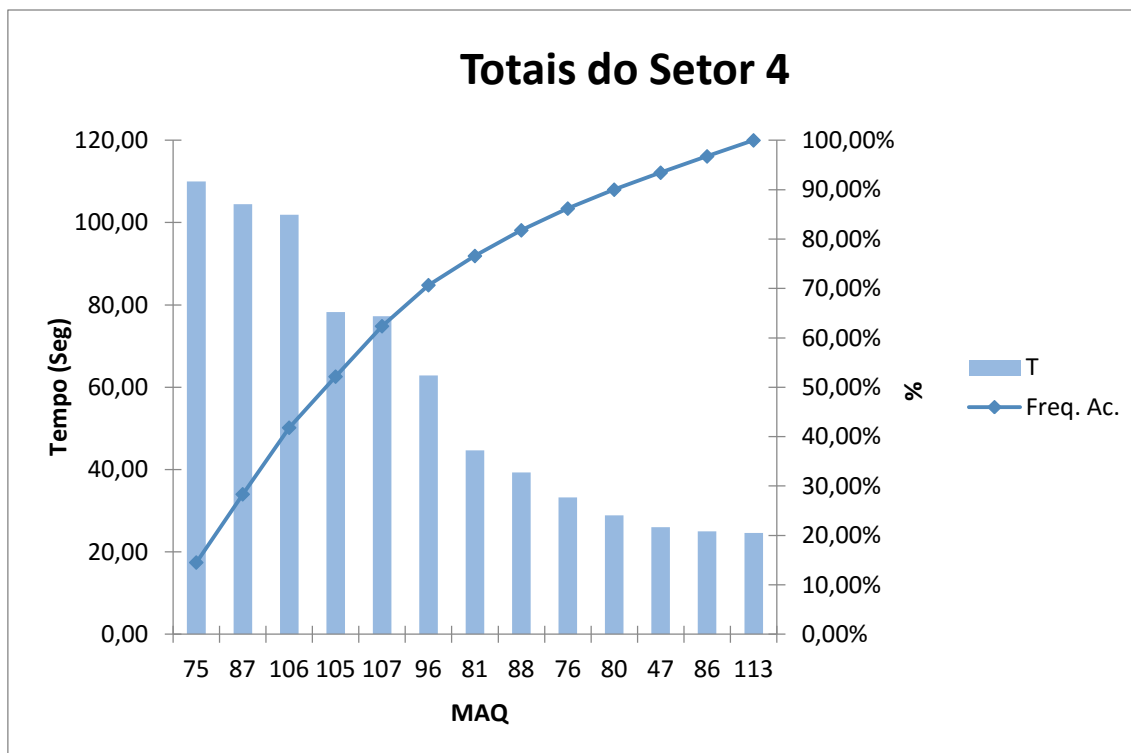


Gráfico 5: Diagrama de Pareto dos tempos do Setor 4

Verificamos então que no setor 1 temos como máquinas críticas a 54, 56 e a 40 (Gráfico 2), no setor 2 a 63, 68 e 64 (Gráfico 3), no setor 3 a 108, 72 e 36 (Gráfico 4) e por fim no setor 4 a 75, 87 e 106 (Gráfico 5). Com esta análise foi possível concluir que o que torna o processo trabalhoso e demorado não é a máquina, mas sim o molde, pois dependendo do tipo de molde que se encontra na máquina o processo altera, uma vez que há moldes que requerem um trabalho mais exigente por parte do operador em relação a outros. Isto verifica-se especialmente nos setores 1 e 2 onde algumas das máquinas críticas (54, 63 e 64) trabalham com moldes onde as peças que produzem têm de ser empilhadas cuidadosamente quando estão a ser embaladas, porque vão ser cromadas e não podem estar sujeitas a qualquer tipo de risco ou sujidade. Existe também o exemplo das máquinas 75, 68, 108, que apesar de as peças produzidas não requererem empilhamento, são moldes que produzem 3 peças diferentes, mais um gito, o que implica um processo de separação de peças muito complexo, o que retira muito tempo ao operador.

Por fim, depois de analisados os diferentes setores, fez-se uma análise de Pareto, para cada um dos diferentes operadores, para percebermos se estes tinham problemas nas mesmas máquinas ou se as máquinas críticas eram diferentes de operador para operador. Verificou-se ainda que operadores que já trabalham na fábrica há mais tempo têm mais facilidade na realização das tarefas e têm uma maior noção de como organizar o posto de trabalho, ao contrário dos colaboradores mais novos, o que levava a que quando um destes abandonava o setor, na mudança de equipa, a pessoa que ficava nesse mesmo setor perdia muito tempo a organizar a área de trabalho, devido à ineficácia do operador anterior, na organização do mesmo.

3.2.3.2. Processo de Abastecimento

Analisando o processo de abastecimento das células de montagem, fez-se o levantamento dos tempos totais das rotas de abastecimento das linhas de montagem (Tabela 8). Foram também contabilizados e identificados todos os pontos de paragem das rotas e respectivas distâncias entre eles. Este levantamento apenas contabiliza as rotas do primeiro turno, sendo que nos outros dois turnos as rotas são iguais.

Rotas	Dia	Operador	Distância (m)	Tempo (hh:mm:ss)
Válvulas	11-nov	Alzira	500	00:30:37
Exteriores	10-nov	Catarina	600	00:31:42
Interiores	23-nov	Beta	212	00:24:30
Mecanismos/Embalagens	22-nov	Carla	550	00:38:31
PLC/CBT/Blisters	11-nov	Ana	550	00:35:12
Torneiras	22-nov	Alzira	284	00:25:11
Total			2696	02:55:43
Média			449.33	00:29:17

Tabela 8: Tempo e distância do percurso em cada uma das rotas

Podemos confirmar que a rota mais longa é a dos “Autoclismos Exteriores” mas a mais demorada é a rota dos “Mecanismos”. Ainda podemos verificar que apesar de a empresa ter estipulado que o tempo limite de cada rota deveria ser de 30 minutos, existem 4 rotas que ultrapassam esse tempo, o que por vezes leva a que falem peças nas linhas de montagem.

Efetuiu-se também uma identificação dos pontos de paragem de cada uma das rotas, como mostra a tabela 9, evidenciando que:

- Rota das “Válvulas” tem um total de 9 pontos de paragem;
- Rota dos “Mecanismos” tem 11;
- Rota dos “Interiores” e “Placas” têm 12;
- Rota dos “Exteriores” tem 14;
- Rota das “Torneiras” tem 17 postos de paragem.

Isto perfaz um total de 65 pontos de paragem diferentes, espalhados por toda a fábrica (Tabela 9).

Rotas					
Valvulas	Mecanismos	Interiores	Placas	Exteriores	Torneiras
SM 45/LI	SM MEC	SM INT	SM PLC	SM EXT	SM TOR
SM Acess (baixo)	SM MEC/P	VD006	SM Acess (Baixo)	SM Acess (cima)	TB004/2
VD009	SM Acess (Baixo)	SM INT/P	Twins	Robo 69	TB006
VD007	SM Acess (cima)	ES002	PC002/3	Robo EXT	TB009
VD001	SM Tor/Val	AI002	CBT	SM 45	TB008
VD002	VD008	AI001	BL001	AE004	SM 74
VD002/3	VD005	Placas A	SV002	AE002	TB001
VD004/6	EE004	ES001	PC005	Tubos 101	TB010
SM Cartão	EE002	SM TOR/VAL	PC001	SM 84	TB007
	EE001	SM Cartão (2)	PM001	AE003	SM 71
	SM Cartão	PM003	PC004	MAQ69	SM 49
		PM009	SM Cartão	Placas A	PM001
				SM Tor/val	SM 88
				SM cartão	TB005
					TB004/1
					SM Tor/P
					SM Cartão

Tabela 9: Postos por rota

Capítulo IV – Otimização dos processos

- Desenvolvimento e implementação

Neste capítulo são apresentadas as alterações e melhorias estudadas e implementadas com vista à otimização de todo o processo produtivo. A primeira parte está relacionada com a definição e implementação de novos *layouts* para organização do posto de trabalho com o objetivo de otimizar o processo de separação e embalagem de peças. A segunda parte está relacionada com a otimização das rotas de abastecimento das linhas de montagem, permitindo uma adaptação das mesmas à produção diária da fábrica.

4.1. Implementação de *layouts* para organização do posto de trabalho

Para otimizar os postos de trabalho da zona das máquinas automáticas e facilitar o trabalho ao operador, propôs-se a otimização dos *layouts* existentes. Tendo em conta a análise realizada anteriormente, concluiu-se que o problema está no tipo de molde a produzir, devido às diferentes necessidades de cada um. Portanto é necessário criar uma maneira de o operador conseguir organizar o seu posto de trabalho de uma forma uniformizada e de acordo com o molde que está em máquina. Para isso foi desenvolvida uma Ficha de *Layout* por Molde (FLM).

4.1.1. Ficha de *Layout* por Molde (FLM)

Este documento consiste numa página, onde o operador consegue visualizar o posto de trabalho e saber como organizá-lo da melhor maneira, tendo também uma listagem de material necessário para a montagem. Iniciou-se este projeto dividindo os moldes em categorias de acordo com as suas necessidades (Tabela 10), obtendo-se um total de 21 categorias diferentes.

FLM	Descrição
1	Robot + passadeira e caixa ou contentor c/ orientação manual
2	Robot + passadeira e granel
3	Passadeira + 1 pá
4	Rampa + Orientação manual em caixa - 1 peça sem gito
5	Passadeira p/ caixa final (1 peça sem gito a granel)
6	Rampa para XL - peça sem gito
7	Passadeira + 2 pás + 1 crivo // fotos laranja sexta
8	Passadeira + 1 pá + separação manual
9	Robot direto na caixa/passadeira
10	Passadeira + separação manual
11	Robot + dispositivo de porcas MA050
12	Robot + passadeira
13	Separador magnético
14	Passadeira + 1 pá + 1 crivo // criar OPL + nota (caso seja nec. Orientação manual...)
15	Manuseamento manual (tubos de evacuação)
16	Robot + rampa para haste "Atlas" + orientação manual
17	Separador no molde + separador na rampa p/caixa final
18	Passadeira + 2 pás
19	Robot separa 1 e deixa cair 3
20	Passadeira vertical e dispensador para orientação das peças
21	Rampa + crivo (grelha)

Tabela 10: Diferentes categorias de moldes

Depois de divididos os moldes procedeu-se à elaboração das fichas de *layout*, realizando uma para cada uma das diferentes categorias de moldes. A criação destas fichas foi feita com a ajuda dos operadores com mais anos de experiência, devido ao seu conhecimento aprofundado de todo o processo.

A Figura 16 é um exemplo de umas das FLMs criadas.



Elaborado por:

Data de criação:

Página(s):

Figura 16: Exemplo de uma FLM

4.1.2. Zona de descargas

Para além da criação das FLMs, foi ainda criada uma zona de descargas para as caixas vazias que são abastecidas pela logística (Figura 17), pois como observado anteriormente (Secção 3.2.3.1) o operador nunca sabia o local onde o colaborador da logística deixava as caixas requisitadas, acabando por despende algum tempo à sua procura. Acontecia ainda, em situações extremas, o operador ir à logística buscar caixas fazendo com que este despendesse muito tempo nessa tarefa. Com vista a resolver este problema, implementou-se uma zona de descargas em cada um dos 4 setores com capacidade para duas paletes (Figura 17).



Figura 17: Zona de descargas do sector 3

4.1.3. Moldes Críticos

Devido à análise realizada anteriormente aos tempos dos operadores das máquinas automáticas (Secção 3.2.3.1), verificou-se a existência de alguns moldes (1081, 1159 e 1163) cuja carga de trabalho era demasiado elevada para o operador suportar. Isto levava a que o operador não conseguisse realizar algumas tarefas durante o turno. Este facto é devido ao elevado número de cavidades e à necessidade de que as peças produzidas serem empilhadas, tornando o processo de embalagem muito demorado.

Realizou-se uma análise mais aprofundada para perceber realmente quanto tempo o operador despendia para a produção desses moldes. Para isso, foram contabilizados os tempos que o operador demora a realizar as diferentes operações, mas desta vez durante um período limitado (2h40min).

No caso dos moldes 1081 e 1159 a análise foi feita em simultâneo pois trabalham nas máquinas 63 e 65, respetivamente, que são as duas do mesmo setor, confirmando-se que cerca de 37%, das 2 horas e 40 minutos, era despendido nesses dois moldes (Tabela 11).

	Tempo (min)
Tempo total da amostra	160
Total tempo despendido para as MAQ 63 & 65 em 2h e 40min	57.92
Total tempo despendido para as MAQ 63 & 65 em 1h	21.72
% Tempo despendido para as MAQ 63 & 65	36.20%

Tabela 11: Análise às máquinas 63 e 65

Para o molde 1163, que trabalha na máquina 54, realizou-se a mesma análise e verificou-se que o operador gastava cerca de 19% das 2 horas, a operar nesse molde (Tabela 12).

	Tempo (min)
Tempo total da amostra	120
Total tempo despendido para a MAQ 54 em 2h	22.88
Total tempo despendido para a MAQ 54 em 1h	11.44
% Tempo despendido para a MAQ 54	19.07%

Tabela 12: Análise à máquina 54

Depois desta constatação e de se verificar que estes moldes são demasiado dispendiosos para fabricar nestas condições, uma vez que estes processos poderiam ser feitos na fábrica da Oliveira & Irmão, em Itália, a direção decidiu que estes poderiam ser enviados para lá, até porque ficariam mais próximos do local de cromagem que é também em Itália.

4.1.4. Otimização das rotas *mizusumashi*

Neste ponto é necessário não só a otimização das rotas dos *mizus* já existentes, mas também ter uma aplicação que em tempo real pudesse calcular e recalculas rotas dentro do chão da fábrica, de acordo com as situações inesperadas que possam surgir ao longo do dia de trabalho. Isto porque às vezes ocorrem paragens de produção pontuais, devido a avarias ou outro tipo de problemas, que fazem com que não seja necessário efetuar o abastecimento de uma determinada linha. Outras situações estão relacionadas com alterações de produção, que fazem com que os abastecimentos sejam alterados, tanto em quantidades de materiais, como em frequência. Desta forma, as rotas fixas existentes no momento, podem não ser uma boa opção, porque sempre que isso acontece, os funcionários têm de estar a recalculas as rotas, só com base na experiência e na informação que têm no momento.

Assim, o objetivo é desenvolver uma aplicação que recorra a um modelo de programação linear inteira mista para determinar as rotas ótimas, de acordo com as ordens de produção diárias e em cada um dos turnos. Devido ao grande número de pontos de visita das rotas e às várias restrições e requisitos de todo o processo de distribuição, é recomendável que a abordagem desenvolvida não só determine as melhores rotas, como também o faça num tempo computacional bastante reduzido. Para isso, é necessário também desenvolver um algoritmo que simplifique e reduza o problema, por forma a que, o modelo matemático seja pequeno o suficiente para que possa gerar uma solução num tempo computacional muito reduzido.

4.1.4.1. Dados e restrições do problema

Esta fase iniciou-se com uma recolha de todas as restrições e requisitos que as rotas têm de cumprir para que se garanta um abastecimento eficaz e para que a produção seja cumprida. Por um lado, existem restrições relativas às necessidades de produção, isto é, necessidades de materiais em cada linha/posto, de forma a que se cumpram as ordens de fabrico por turno. Por outro existem restrições relativas ao próprio layout do chão de fábrica e comboio logístico.

Foram identificadas três limitações principais:

- O *mizu* não pode ter atrelado mais de 7 carruagens – restrição que irá ser considerada como a capacidade máxima do comboio logístico;

- Os cruzamentos têm de ser evitados ao máximo, especialmente em partes do percurso onde o caminho é estreito – restrição que irá ser considerada como orientação de arcos;
- Sentidos proibidos, existem corredores que por serem estreitos, não podem passar dois *mizu* em simultâneo. Assim, por questões de segurança, são definidos sentidos obrigatórios nesses corredores – limitação que será considerada recorrendo a um grafo orientado;
- Acessos proibidos, existem corredores, ou pontos no *layout* cuja largura ou configuração não permite a passagem de um *mizu* – limitação que será considerada no grafo como uma aresta proibida;
- A rota tem de ter uma duração máxima de 30 minutos – restrição que irá ser considerada como janela temporal do armazém, sendo este tempo definido de acordo com a capacidade produtiva.
- Requisitos de células, isto é, quando se pretende abastecer determinada célula, o *mizu* tem de passar num ou em mais do que um supermercado que contém as peças para o abastecimento da mesma (Tabela 13) – restrições que irão ser consideradas como precedências de visita.

Supermercados					
Exteriores	Interiores	Mecanismos	Válvulas	Placas	Torneiras
AE002	ES001	EE001	VD001	PC001	TB001
AE003	ES002	EE002	VD002	PC002	TB004/1
AE004	AI001	EE004	VD004	PC003	TB005
MAQ 69	AI002	VD005	VD006	PC004	TB006
		VD008	VD007	PC005	TB007
			VD009	BL001	TB008
				SV002	TB009
				PM010	TB010
				CBT	PM001

Tabela 13: Supermercados e os postos dos quais estes contêm peças

Seguidamente definiram-se os dados que era necessário medir no terreno, para a definição do modelo de programação linear e desenvolvimento do algoritmo:

1. Tempo de manipulação de caixas;
2. Número de caixas manipuladas por posto;
3. Tempo de atrelar/dsatrelar;
4. Tempo de manipulação do cartão;
5. Tempo de manipulação do esferovite;
6. Tempo de construção dos lotes;
7. Distância entre pontos de paragem;
8. Velocidade média do *mizu*;
9. Outros tempos (construção dos carros de *kit's* e abastecer a máquina 69).

Os tempos obtidos para os dados (1) a (6) e a (9) serão utilizados para calcular o tempo de serviço do operador em cada um dos pontos de paragem do percurso, sendo que o dado (9) apenas é aplicado à rota dos “Interiores” no caso da construção de carros de *kit's* e à dos “Exteriores” no abastecimento da máquina 69. O dado (6) é referente ao tempo de

manipulação dos *kanban's*, ou seja, construção do lote. As variáveis (7) e (8) serão utilizadas para calcular os tempos da deslocação entre os pontos de paragem da rota.

O estudo foi iniciado com a medição de tempos (1), (3), (4), (5), (6) e (9) e em simultâneo a contabilização do número de caixas manipuladas por posto (2) (Tabela 14). No processo de medição das variáveis (1) e (2) separaram-se os postos de montagem dos supermercados, pois os tempos e o número de caixas manipuladas são muito diferentes, devido à quantidade elevada de caixas manipuladas nos supermercados agregado ao tempo de procura do material.

Calculou-se ainda o tempo de manipulação de 1 caixa para posteriormente ser utilizado no cálculo do tempo de serviço em cada posto ao multiplicar esse valor pelo número médio de caixas manipuladas.

Posto	Operador(a)	Rota	Dia	Nº de caixas	Tempo (s)	Tempo 1 caixa (s)
AE002	Carla	EXT	07-dez	14	94	6.71
AE002	Carla	EXT	07-dez	16	100	6.25
AE002	Carla	EXT	07-dez	25	139	5.56
AE003	Carla	EXT	07-dez	6	44	7.33
AE003	Carla	EXT	07-dez	8	60	7.50
AE003	Carla	EXT	07-dez	17	112	6.59
AI001	Cláudia	INT	23-jan	17	95	5.59
AI001	Cláudia	INT	23-jan	5	37	7.40

Tabela 14: Exemplo de tabela de medições de tempos e número de caixas

Depois de medidos todos os tempos, fez-se uma média geral dos valores retirados para perceber melhor a situação atual do processo (Tabela 15).

Posto	Operador(a)	Rota	Dia	Nº de caixas	Tempo (s)	Tempo 1 caixa (s)
Total				1872	13055	1484.01
Média				9.70	67.64	7.69

Tabela 15: Exemplo das médias totais das variáveis

De seguida procedeu-se a um tratamento dos dados obtidos através de gráficos de linhas o que nos permitiu avaliar as variações dos tempos (gráfico 6) e do número de caixas manipuladas (gráfico 7), e retirar aqueles que se encontravam mais deslocados em relação aos restantes, ou seja, esses pontos foram considerados como ruído e não foram usados nos cálculos das fases seguintes.

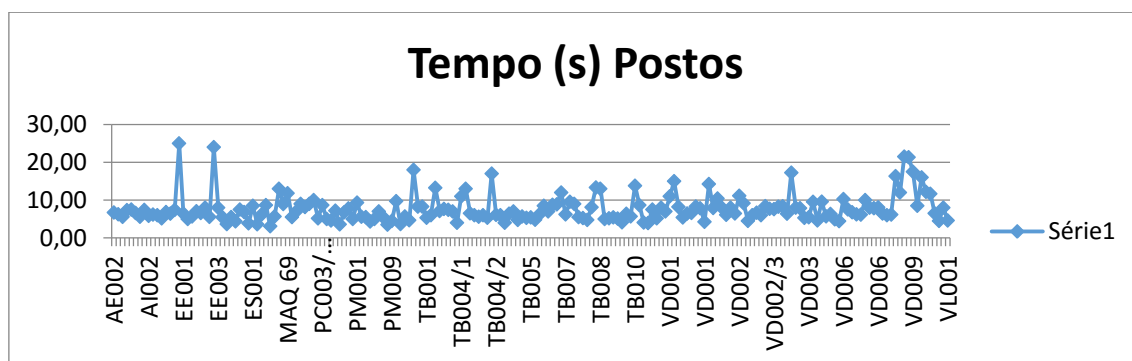


Gráfico 6: Exemplo de gráfico de análise dos tempos

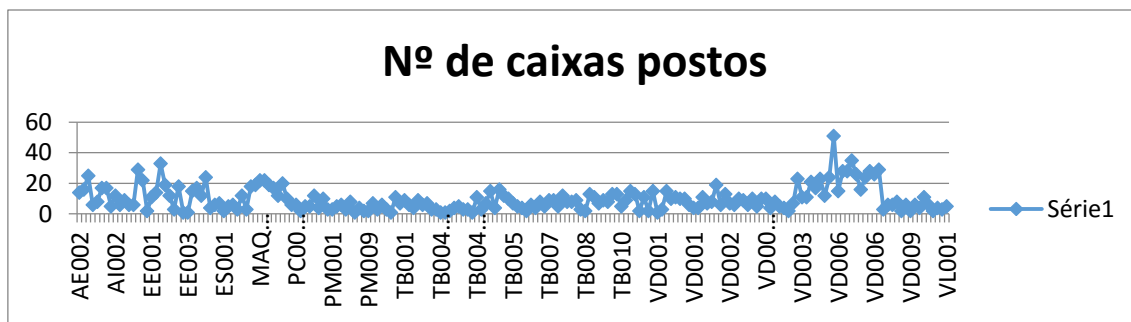


Gráfico 7: Exemplo de gráfico de análise do número de caixas manipuladas

Em seguida avançou-se para o cálculo do número médio de caixas e do tempo de manipulação das mesmas, em cada um dos diferentes pontos de paragem (Tabela 16). Para os dados dos postos de montagem, supermercados e manipulação de cartão, utilizou-se o mesmo processo, visto que é idêntico. Obtiveram-se os seguintes resultados relativos às médias dos tempos e do número de caixas manipuladas:

- Nos postos de montagem – 7.69 seg. e 10 caixas;
- Nos Supermercados – 7.97 seg. e 14 caixas;
- Manipulação de cartão – 12.94 seg./molho de cartão e 2 molhos de cartão.

Rótulos de Linha	Média de Nº de caixas	Soma de Tempo (s)	Média de Tempo 1 caixa (s)
Placas A	2.50	171	16.65
SM 45	3.71	262	11.12
SM 45/LI	15.70	1384	9.29
SM 49	3.00	75	8.28
SM 62	3.25	139	10.58
SM 71	5.00	169	9.28
SM 74	1.33	127	16.33
SM 84	3.00	294	16.14
SM 88	1.20	87	15.50
SM 99	1.50	31	10.50
SM Acess	3.56	682	12.46
SM EXT	9.17	438	9.82
SM INT	12.40	319	5.96
SM INT/MEC	1.67	75	16.56
SM INT/P	2.83	178	11.94
SM MEC	30.75	2344	9.27
SM MEC/P	3.60	343	25.22
SM PLC	21.80	758	6.68
SM TOR	25.14	1257	7.27
SM TOR/P	4.67	347	16.96
SM TOR/VAL	5.81	973	8.74
Tubos 101	2.14	668	44.74
Twins	6.50	161	13.03
Total Geral	7.97	11282	13.21

Tabela 16: Médias das amostras dos supermercados

Para a operação de abastecimento de esferovite, o processo variou um pouco, visto que não é possível quantificar a quantidade de esferovite abastecida à célula, portanto apenas foi contabilizado o seu tempo médio de abastecimento em cada um dos diferentes postos de montagem (Tabela 17).

Rótulos de Linha	Média de Tempo (s)
Carla	48.67
EXT	48.67
AE002	45.33
AE003	54.33
MAQ 69	46.33
Cláudia	29.20
INT	29.20
AI002	29.20
Total Geral	41.71

Tabela 17: Médias dos tempos de abastecimento de esferovite.

Por fim calculou-se a média dos tempos de manipulação de *kanban's*, atrelar ou desatrelar uma carruagem, construção dos carros de *kit's* e de abastecimento da máquina 69, (Tabela 18). Apenas foi calculada a média geral da operação, pois a localização não é relevante e estão apenas dependentes da velocidade do operador. O valor médio de manipulação de *kanban's* é de 33,33 seg., do processo de atrelar ou desatrelar é de 21,46 seg., construção de carros de *kit's* 442 seg. e por fim o tempo médio de abastecimento da máquina 69 é de 58,67 seg..

Carros de Kit's	Operador(a)	Dia	Tempo (s)
INT	Cláudia	23-jan	498
	Cláudia	23-jan	422
	Cláudia	23-jan	406
Total			1326
Média			442.00

Tabela 18: Média geral dos tempos e construção de carros de *kit's*

Para finalizar, depois de calculados todos estes valores foi possível determinar o tempo de serviço do operador, em cada um dos pontos de paragem do *mizu* (Tabela 19).

Postos	Tempo de serviço (seg)
SM EXT	165,05
SM Acess (cima)	49,83
Robo 69	22,29
Robo EXT	31,88
SM 45	44,47
AE004	129,86
AE002	205,58
Tubos 101	134,21
SM 84	48,43
AE003	132,88
MAQ69	346,15
Placas A	49,94
SM Tor/val	52,42
SM cartão	38,83

Tabela 19: Parte da tabela de tempos de serviço nos diferentes pontos de paragem

Numa segunda fase procedeu-se à recolha das distâncias entre os pontos e ao cálculo da velocidade média, para posteriormente se poder determinar o tempo de deslocação entre cada dois pontos de paragem. A recolha das distâncias entre os diferentes postos de paragem foi feita através do *layout* existente com as cotas da fábrica, que permitiu calcular todas essas distâncias entre pontos.

Depois de calculadas as distâncias foi retirada uma pequena amostra de 10 tempos de deslocação numa parte específica do trajeto, com um comprimento de 38,5 metros, para calcular a velocidade média (Tabela 20), obtendo-se um valor final de aproximadamente 2,5 m/s.

Amostras	Velocidade (m/s)
1	2
2	2.4
3	2.3
4	2.7
5	2.8
6	3
7	2.6
8	2.4
9	2.2
10	2.5
Média	2.49

Tabela 20: Cálculo da velocidade média

Após calculada a velocidade média e retiradas as distâncias, avançou-se para uma terceira fase, a criação da matriz de tempos de deslocação entre todos os pontos de paragem existentes na fábrica, para posteriormente se desenvolver o modelo matemático e o algoritmo para o cálculo das rotas. A Tabela 21 representa uma parte dessa matriz de tempos, sendo que a matriz completa é uma matriz de 65x65.

T (s)	SM 45/LI	SM Acess (baix)	VD009	VD007	VD001	VD002	VD002/3	VD004/6	SM Cartão
SM 45/LI	0	18	16	20	46,5	56	56,5	33,5	10000
SM Acess (baix)	18	0	22	26	47,5	57	57,5	37	33,5
VD009	16	22	0	4	30,5	40	40,5	17	24,5
VD007	20	26	4	0	26,5	36	36,5	13	23,5
VD001	46,5	47,5	30,5	26,5	0	9,5	13	27	46
VD002	56	57	40	36	9,5	0	4	36,5	55,5
VD002/3	56,5	57,5	40,5	36,5	13	4	0	37	56
VD004/6	33,5	37	17	13	27	36,5	37	0	30
SM Cartão	15,5	33,5	24,5	23,5	46	55,5	56	30	0

Tabela 21: Parte da matriz de tempos de deslocação

Como algumas das linhas a abastecer (por exemplo a linha de montagem) estão sujeitas a precedências na ordem de visita, isto porque requerem que o veículo passe por um supermercado intermédio, antes de abastecer a linha, nestes casos a matriz de tempos foi recalculada da seguinte forma: os tempos de deslocação para esses pontos de paragem são entre o supermercado intermédio e os respetivos pontos de abastecimento. No final da rota estar construída, soma-se à função objetivo os tempos de deslocação entre os supermercados intermédios e o armazém inicial.

Podemos verificar no canto superior direito da Tabela 21, o tempo de deslocação do “SM45/LI” para o “SM Cartão” é de 10000 segundos, isto para evitar que o veículo transite nesse sentido, isto foi feito para todos os corredores que só podem ser percorridos num sentido, ultrapassando assim uma das restrições do problema.

4.1.4.2. Modelo matemático

Depois de reunidos todos os dados e definidas as restrições prosseguiu-se com a elaboração do modelo matemático de programação linear inteira mista. De acordo com os problemas típicos de VRP, vamos supor que temos o seguinte grafo $G(C, A)$ representado pelo conjunto de pontos de paragem (nós) e as ligações diretas entre eles (arestas ou arcos). Assim, define-se $C = \{1, \dots, cl\}$ como sendo o conjunto de pontos de paragem e $A = \{(i, j): i, j \in C, i \neq j\}$ o conjunto de arestas em G. O comprimento de cada arco d_{ij} corresponde à distância entre o ponto i ao j , e a cada comprimento está afeto um tempo de percurso t_{ij} . Cada ponto de paragem tem um tempo de serviço ts e cada rota tem um tempo máximo $tmax$ permitido de 30 minutos. MT , representa um valor muito grande

Foram criadas duas variáveis de decisão:

- s_i , que indica o instante de tempo em que o veículo chega a cada um dos pontos de paragem, é uma variável real;
- x_{ij} , variável binária que assume o valor 1 se o arco (i, j) é percorrido pelo veículo senão, é zero.

Assim, considera-se o seguinte modelo:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{cl} \sum_{j=1}^{cl} (t_{ij} \times x_{ij}) \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1, i \neq j}^{cl} x_{ij} = 1, \forall j \neq 1 \in C \quad (2)$$

$$\sum_{j=1, j \neq i}^{cl} x_{ij} = 1, \forall i \neq 1 \in C \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{cl} \sum_{j=1}^{cl} s_i + ts_i + t_{ij} \leq s_j + MT \times (1 - x_{ij}), \forall i \quad (4)$$

$$s_1 \leq tmax \quad (5)$$

O objetivo é minimizar o tempo total das rotas. Esta função objetivo (Equação 1) está sujeita a várias restrições: as duas primeiras (Equação 2 e 3) garantem que cada ponto de paragem é visitado apenas uma vez; a Equação 4 permite determinar o instante de tempo em que o veículo chega a cada ponto de visita, isto para que se garanta que o tempo máximo das rotas nunca é excedido (Equação 5).

4.1.4.3. Abordagem híbrida

Como já referido na secção anterior, com vista a simplificar o modelo desenvolvido por forma a diminuir a sua complexidade e por consequência o tempo computacional, foi desenvolvido um algoritmo com o apoio do Excel e do *Visual Basic for Applications* (VBA). Um dos problemas mais complicados está relacionado com as precedências na ordem de visita de alguns dos postos de trabalho. Isto é, existem postos de trabalho que quando são visitados têm necessariamente de ser precedidos pela visita do *mizu* a um ou mais supermercados, por forma a este ir recolher todo o material necessário. Além disso, por vezes existem exceções em que é necessário ir buscar material a um supermercado antes de passar por um determinado posto de trabalho (situação de precedência). Um outro problema está relacionado com o facto de as rotas serem dinâmicas, devido a situações esporádicas. Alguns dos postos de trabalho podem não ter ou poder ser visitados. Outra situação está relacionada com a impossibilidade de alguns trajetos (secção 4.1.4.1), por exemplo, corredores que não permitem a passagem devido às suas dimensões, ou até mesmo por estarem interditos devido a algum obstáculo não habitual. Assim sendo, as matrizes de distâncias/tempos de deslocação, vão ser dinâmicas. Daí ser necessário que estas sejam recalculadas, sempre que se pretenda determinar uma ou mais rotas para um determinado turno.

Recorreu-se para isso a uma abordagem híbrida, que permite integrar um algoritmo que simplifica o problema com o modelo de programação linear inteira mista (secção 4.1.3.2). Este algoritmo (Figura 18) vai permitir um pré-cálculo das matrizes de tempos de acordo com

as precedências e restrições existentes, simplificando desta forma o modelo, através da eliminação das mesmas e diminuindo o tamanho da matriz de tempos de deslocação (pontos de paragem).

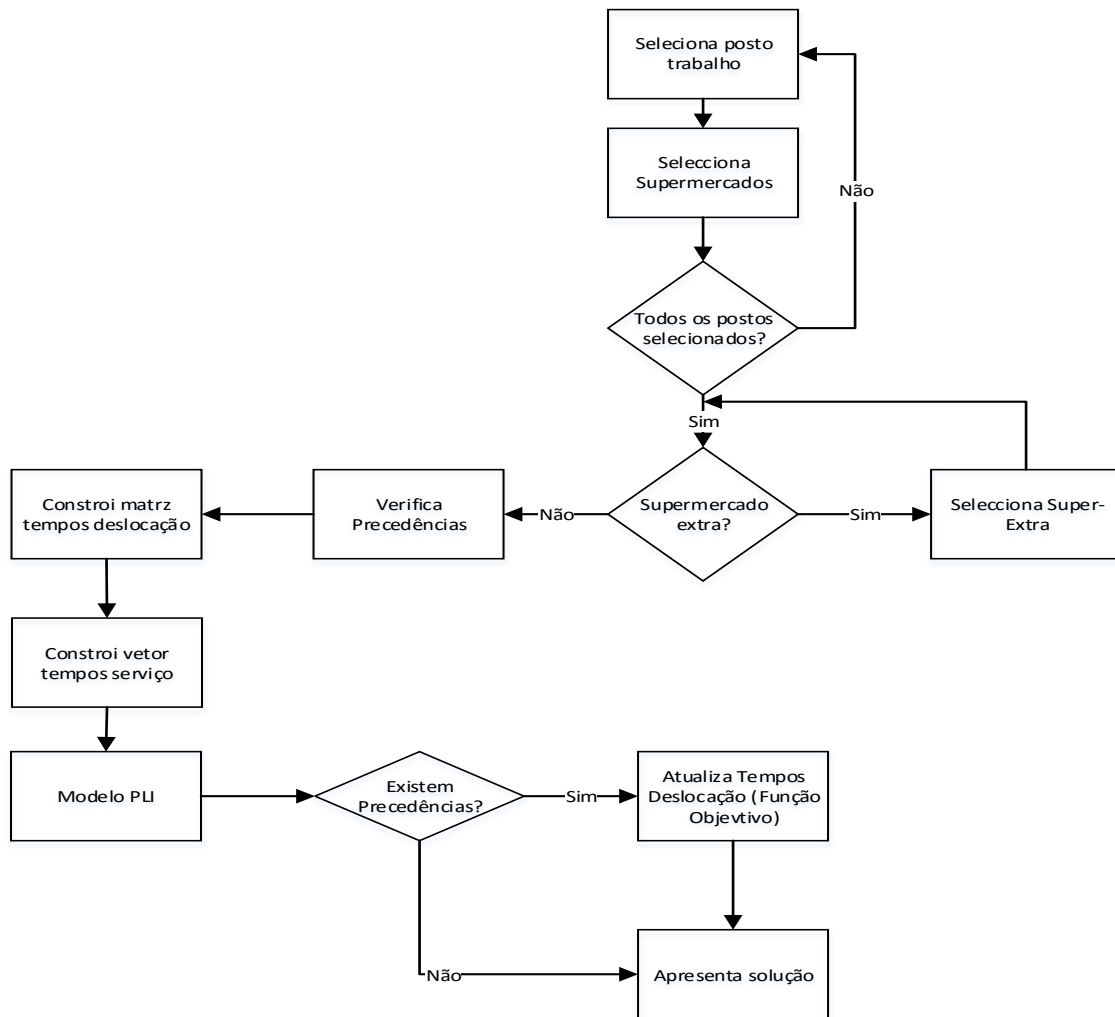


Figura 18: Funcionamento do algoritmo

O algoritmo inicia (Figura 18) quando o utilizador começa a seleccionar os postos de trabalho/pontos de paragem. Sempre que se selecciona um ponto de paragem, deve-se seleccionar os supermercados a ele afetos, além disso, pode existir necessidade de adicionar um supermercado extra (por questões de necessidade de produção). Depois de todos os pontos estarem seleccionados, é feita uma verificação para ver se existem precedências. Caso existam, e para cada um dos pontos com precedentes é construída a matriz de tempos de deslocação.

A eliminação das restrições de precedência no modelo é feita à custa desta matriz de tempos de deslocação. Esta matriz, quando existem pontos de visita precedentes, é construída da seguinte forma: supondo a seguinte situação (Figura 19), em que o veículo tem três postos de trabalho para visitar, tendo um deles (ponto k) um supermercado precedente (ponto j). A matriz de tempos será construída sem o supermercado j (ponto precedente). O tempo de serviço do sucessor k , passa a ser: $ts_k = ts_k + ts_j$. É criado um vetor de tempos de deslocação (td_j) para o supermercado j , entre este e todos os outros pontos de paragem. Depois da rota construída, insere na rota o supermercado j , fazendo a actualização dos tempos (função

objetivo), removendo o arco de entrada do posto k e insere o nó j , atualizando os respectivos tempos de deslocação (Figura 20). Caso exista mais do que um ponto precedente para o mesmo posto, o procedimento é o mesmo.

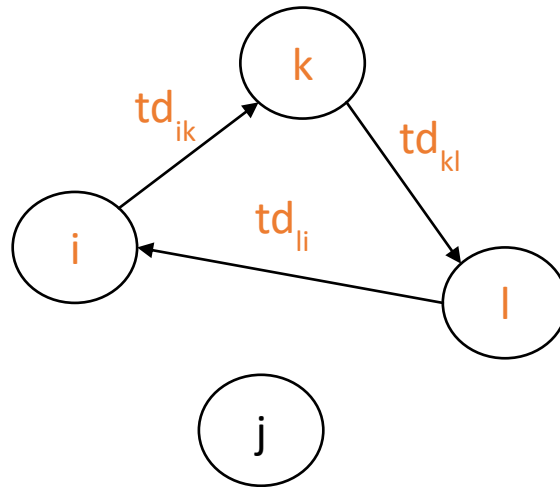


Figura 19: Situação de pontos com precedências

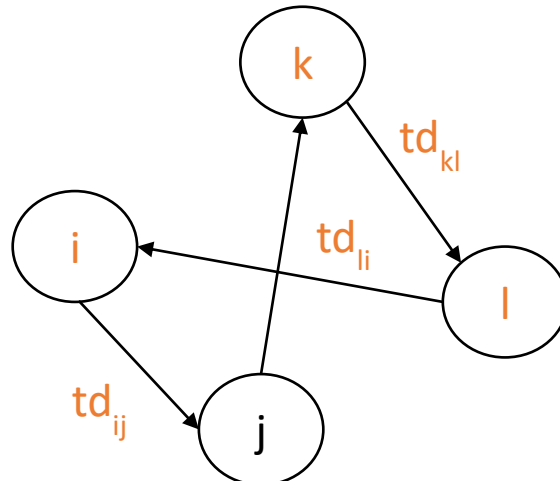


Figura 20: Solução final de uma situação de pontos com precedências

Nestes casos, o tempo de serviço do ponto precedente (ou pontos) é sempre somado ao tempo de serviço do ponto sucessor. Assim, e em seguida, o algoritmo cria um vetor de tempos de serviço, de acordo com os pontos de paragem e supermercados selecionados. Estes tempos dependem não só do tempo de serviço efetivo, como também, nos casos dos pontos de visita com precedentes, dos tempos de serviço destes que é então somado ao tempo de serviço do sucessor.

Depois de construídos os dados de entrada do modelo, este é chamado e obtém-se uma solução para a rota. Em seguida, caso existam precedentes, são então ajustados os tempos, tal como se explica anteriormente. Por fim, ou no caso de não existirem precedentes, é apresentada a solução encontrada.

4.1.4.4. Aplicação desenvolvida

Na parte final do projeto, com o algoritmo idealizado anteriormente, criou-se um programa em VBA, não só para ter uma interface para o utilizador, como também, para tornar este algoritmo dinâmico com o objetivo de tornar o cálculo das rotas, simples, rápido e eficaz.

O programa inicia-se com a interface representada na Figura 21 onde vemos um botão para iniciar o programa (START), um para limpar os dados (RESET) e uma área onde irão surgir os pontos de paragem seleccionados pelo utilizador.

The diagram shows a simple electrical circuit on a grid background. On the left, there is a battery symbol consisting of four cells, each with a long vertical line (positive) and a short, thick vertical line (negative). To the right of the battery is a switch symbol, represented by two small circles connected by a horizontal line, with a diagonal line segment extending from the right circle. Further to the right is a buzzer symbol, depicted as a rectangle with a smaller rectangle inside it. The circuit is completed by a single wire that runs horizontally from the positive terminal of the battery, through the switch, and through the buzzer, before returning to the negative terminal of the battery.

Figura 21: Janela inicial

Depois de iniciado o programa, o operador depara-se com uma janela, onde poderá selecionar os postos de trabalho/pontos de paragem por onde deseja que o *mizu* passe e os supermercados de que esse posto está dependente. Desta forma, para cada posto pode selecionar quais os supermercados pelos quais necessita que o *mizu* passe, de forma a garantir o abastecimento das linhas, Figura 22.

À medida que os postos e os supermercados vão sendo selecionados pelo operador, estes irão surgir na área dos “Pontos de paragem” mencionada anteriormente, Figura 23.

Misuzumashi

Pontos de paragem

EE004

Adicionar Posto

SM MEC/P

Adicionar Supermercado

Supermercado extra

Limpar

Cancelar

GO!!!

Figura 22: Interface gráfica programa

Mizusumashi
Pontos de paragem
BL001
Twins
EE004

Figura 23: Janela dos pontos de paragem seleccionados

O programa permite ainda limpar pontos de paragem, caso o operador se engane na seleção do mesmo, através do botão “Limpar”, e adicionar um supermercado extra, caso haja necessidade de visitar um outro supermercado, que normalmente não é obrigatório para os postos seleccionados. Ao seleccionar o botão “Supermercado extra”, surge outra janela (Figura 24), com a listagem de todos os supermercados existentes na fábrica. Este supermercado extra está sempre associado, em termos de precedência, a um posto de trabalho ou pode até mesmo ser precedente/subsequente de um outro supermercado. Esta precedência (ou posterioridade) é dada pela ordem pela qual os postos e supermercados vão sendo seleccionados.

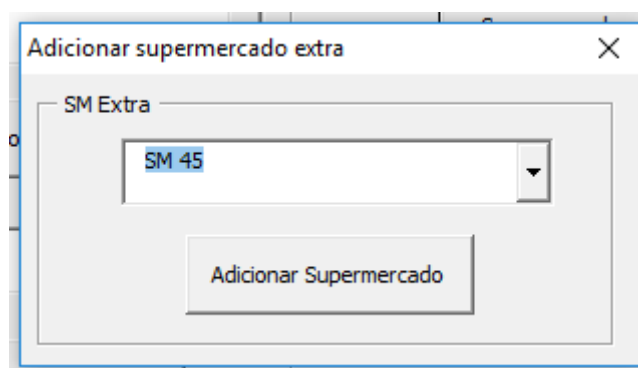


Figura 24: Janela para adicionar supermercados extra.

Depois de todos os pontos de paragem seleccionados, o operador selecciona o botão “GO!!!” e é chamado o algoritmo híbrido para cálculo da rota ótima para a situação desejada.

O resultado é apresentado numa nova página, onde podemos ver as variáveis de decisão x_{ij} com valor 1, a ordem pela qual o *mizu* os deve percorrer (em baixo na Figura 25) e por fim o tempo total da rota.

Capítulo V – Resultados

5.1. Otimização de processos de separação de peças

Para verificar os resultados da implementação das FLM foi feita uma recolha de tempos a diferentes operadores, tal como foi feito para a situação inicial, com o intuito de verificar se a sua performance tinha melhorado com a utilização das FLM (Tabela 22).

					Tempo das diferentes tarefas (seg)					
MAQ 49	Dia	Turno	Operário	Molde	Separar Peças	Separar Gitos	Peça nas Caixas	Caixas nas Paletes	Tempo Total (seg)	Observações
	13/jan	1º	João	1004			36		36	
							41	17	58	
							28	10	38	
							44	8	52	
							39	6	45	
	19/jan		Denis			49	11	60		
						35		35		
						33	52	85		
	30/jan		André	325			68	9	77	
							40	10	50	
							46	5	51	
							17	4	21	
							90	15	105	
						68	10	78		
	Média						45.29	13.08	56.50	

Tabela 22: Exemplo dos resultados recolhidos para o processo de separação de peças.

Para podermos comparar a performance dos operadores antes e depois da implantação das FLM, compararam-se os tempos de uma volta completa ao setor, onde o operador tinha acesso as FLM. Verificou-se que em operadores que já estavam há muito tempo na empresa, a utilização das FLM não teve muito impacto, pois já sabiam bem como organizar o posto de trabalho, mas em operadores recém-chegados à fábrica ou com pouco tempo de serviço na mesma, as FLM foram uma mais-valia e permitiram uma redução nos tempos de separação e embalamento das peças. Podemos verificar na tabela 23, os valores obtidos inicialmente, antes da implementação das FLM, e na tabela 24 os valores obtidos após a implementação.

Operador X (Setor 2)			
MAQ	Tempo (seg)	Frequência	Frequência acumulada
63	175,30	19,31%	19,31%
67	139,29	15,35%	34,66%
100	134,75	14,85%	49,51%
65	132,21	14,57%	64,07%
64	111,50	12,28%	76,36%
60	73,33	8,08%	84,44%
92	35,6	3,92%	88,36%
68	28,5	3,14%	91,50%
85	25,67	2,83%	94,33%
58	22,5	2,48%	96,80%
59	18	1,98%	98,79%
70	11	1,21%	100,00%
Total	907,65	100,00%	

Tabela 23: Amostra recolhida antes da implementação das FLM

Operador X (Setor 2)			
MAQ	Tempo (seg)	Frequência	Frequência acumulada
63	136,90	16,89%	16,89%
65	123,68	15,26%	32,16%
100	120,36	14,85%	47,01%
67	115,25	14,22%	61,23%
64	104,72	12,92%	74,16%
60	71,50	8,82%	82,98%
68	32,66	4,03%	87,01%
92	31	3,83%	90,84%
85	26,20	3,23%	94,07%
58	21,33	2,63%	96,70%
59	14,23	1,76%	98,46%
70	12,5	1,54%	100,00%
Total	810,33	100,00%	

Tabela 24: Amostra recolhida depois da implementação das FLM

Neste caso houve uma redução de cerca de um minuto e meio, numa volta completa ao setor, sendo que em média um operador dá a volta ao setor cerca de 15 vezes, até ao final do turno. Por isso, dá em média, um total de 27 minutos ganhos por turno, no dos operadores com pouca experiência no processo.

Com a implementação das FLM também foi garantido o *standard work*, o que não se verificava anteriormente, onde cada operador, de cada vez que inicia o turno, organizava o seu posto de trabalho à sua maneira, retirando-lhe cerca de 30 minutos do tempo útil. As FLM permitiram a eliminação desse tempo, pois todos os operadores agora trabalham da mesma maneira.

A implementação da zona de descarga para as caixas vazias permite agora aos operadores, saberem sempre onde as caixas vindas da logística são deixadas, o que evita deslocações desnecessárias por parte do operador.

Por outro lado, ao retirar os moldes críticos de produção, permitiu uma redução do tempo a que o operador tinha de estar dedicado a essas máquinas. No caso da máquina 54 podemos verificar no Gráfico 2 que esta representava cerca de 20% do tempo que o operador levava a realizar uma volta ao setor. Com a remoção do molde 1163 da produção, a máquina continua a ser a máquina crítica do setor, mas representa apenas cerca de 15% do tempo que o operador leva a realizar a volta ao setor (Gráfico 8). O mesmo se verificou nos outros dois casos, da máquina 63 e 65, onde houve uma redução de 3% e 2% respetivamente (Gráfico 9).

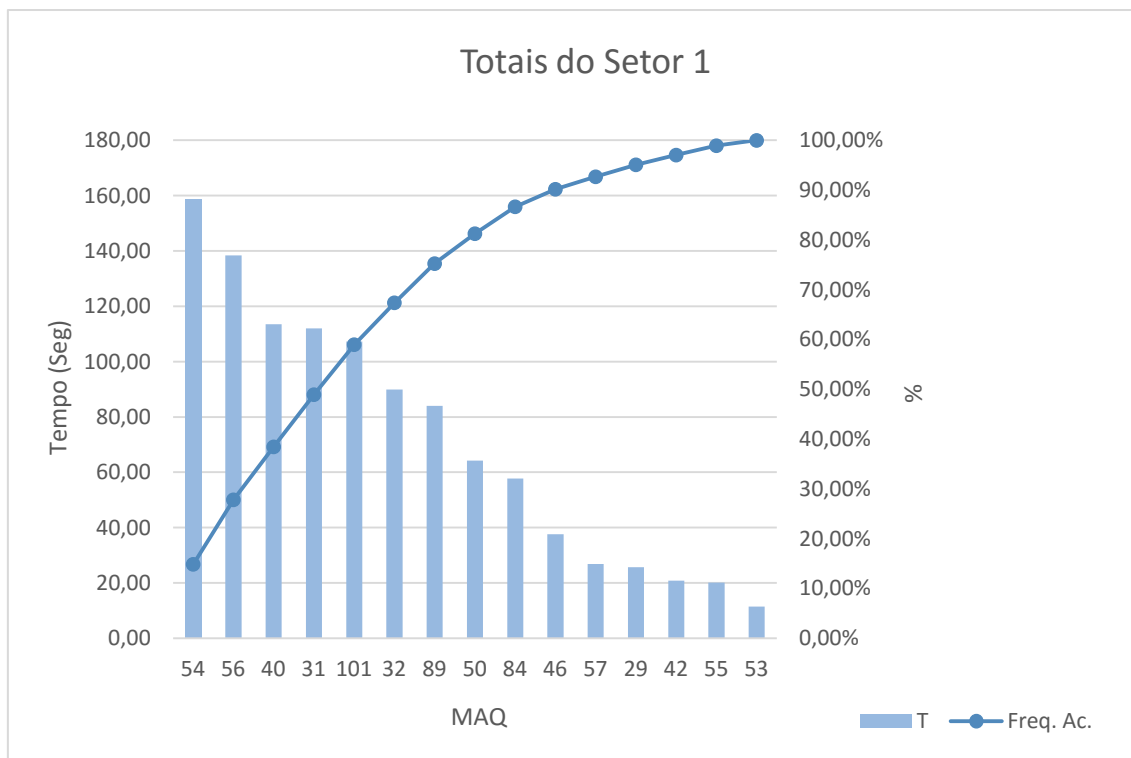


Gráfico 8: Análise de Pareto do setor 1 depois das implementações

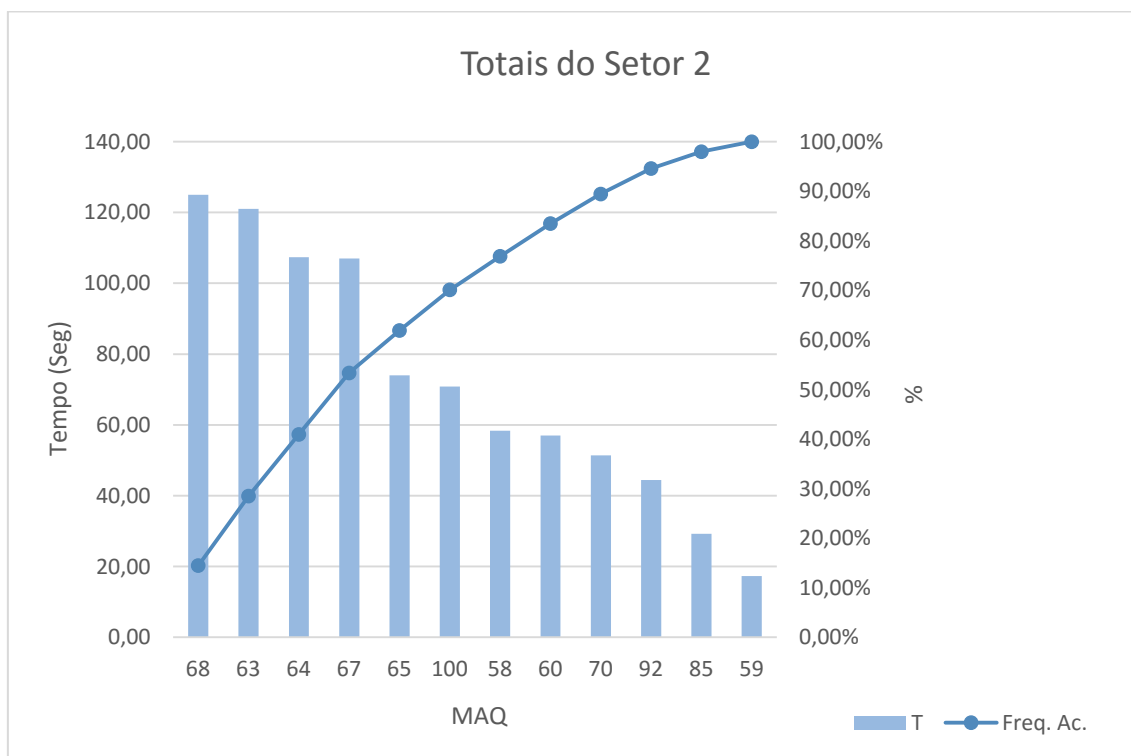


Gráfico 9: Análise de Pareto do setor 2 depois das implementações

5.2. Otimização do processo de abastecimento das linhas de montagem

Para avaliar o impacto da implementação da abordagem desenvolvida para otimização das rotas *mizusumashi*, realizou-se uma comparação entre os tempos que eram efetuados nas rotas já existentes, com os tempos das novas rotas determinadas recorrendo ao algoritmo híbrido.

No 1º Turno os postos de trabalho estão todos a trabalhar, implicando uma passagem constante do *mizu* por todos os postos e com rotas fixas. Desta forma, em termos de alterações na ordem de visita dos postos de trabalho não se verificaram alterações. No entanto a aplicação torna-se uma mais-valia no 2º e 3º turno onde a variabilidade de postos de trabalho ativos é muito maior. Neste caso, o *mizu* seguia as rotas *standard* (Anexos 1,2,3,4,5 e 6), mesmo havendo percursos em que não acontecia efetivamente uma paragem em determinados postos. Neste caso, a abordagem desenvolvida, permitiu obter rotas mais adequadas, isto é, rotas que consideram só os postos que efetivamente estão a laborar, havendo nestes casos reduções de tempos de rotas significativos.

Convém ter em consideração, que de uma maneira geral, cerca de 90% do tempo total das rotas, é respeitante ao tempo de serviço nos pontos de paragem. Desta forma, por muito otimizadas que estejam, ou sejam as rotas, este tempo nunca pode ser reduzido pelo algoritmo. Assim, qualquer redução do tempo total das rotas será sempre só sobre os restantes 10%.

A abordagem permitiu, em algumas situações do 2º turno reduzir o tempo de deslocação entre os pontos de paragem, verificando-se uma redução média na ordem dos 8% em praticamente todas as rotas, como podemos ver no exemplo descrito na tabela 25. Como se pode verificar nesta tabela, onde antes o *mizu* que estava a fazer a rota das “Válvulas”, tinha um tempo de deslocação de 4 minutos e 23 segundos. Depois de recalculada a rota (Figura 27), o tempo total de deslocação passou a ser de 3 minutos e 49 segundos. Teve uma redução de 34 segundos o que equivale a cerca de 13% de redução do tempo total da rota. Obteve-se ainda melhorias em outras três rotas, na dos “Exteriores”, na dos “Mecanismos” e na das “Placas”, onde se melhorou aproximadamente 4%, 5,5% e 8,5% respetivamente. A rota dos “Interiores” e das “Torneiras” não foram melhoradas, pois a rota definida pelo algoritmo era a que já estava a ser utilizada.

Rotas	Rotas Iniciais (min:seg)		Abordagem híbrida (mig:seg)			Diferença (seg)	Melhoria (%)
	Tempo Total	Tempo Deslocação	Tempo Total	Tempo Deslocação	Tempo Computação		
"Válvulas"	21:59	04:23	21:25	03:49	00:03	34	12,93%
"Exteriores"	23:33	05:15	23:20	05:02	00:05	13	4,13%
"Interiores"	17:56	00:00	17:56	00:00	00:04	0	0,00%
"Mecanismos"	28:11	05:12	28:27	04:56	00:03	16	5,41%
"Placas"	26:05	05:44	25:36	05:15	00:04	29	8,43%
"Torneiras"	20:20	00:00	20:20	00:00	00:05	0	0,00%

Tabela 25: Resultados da implementação do algoritmo

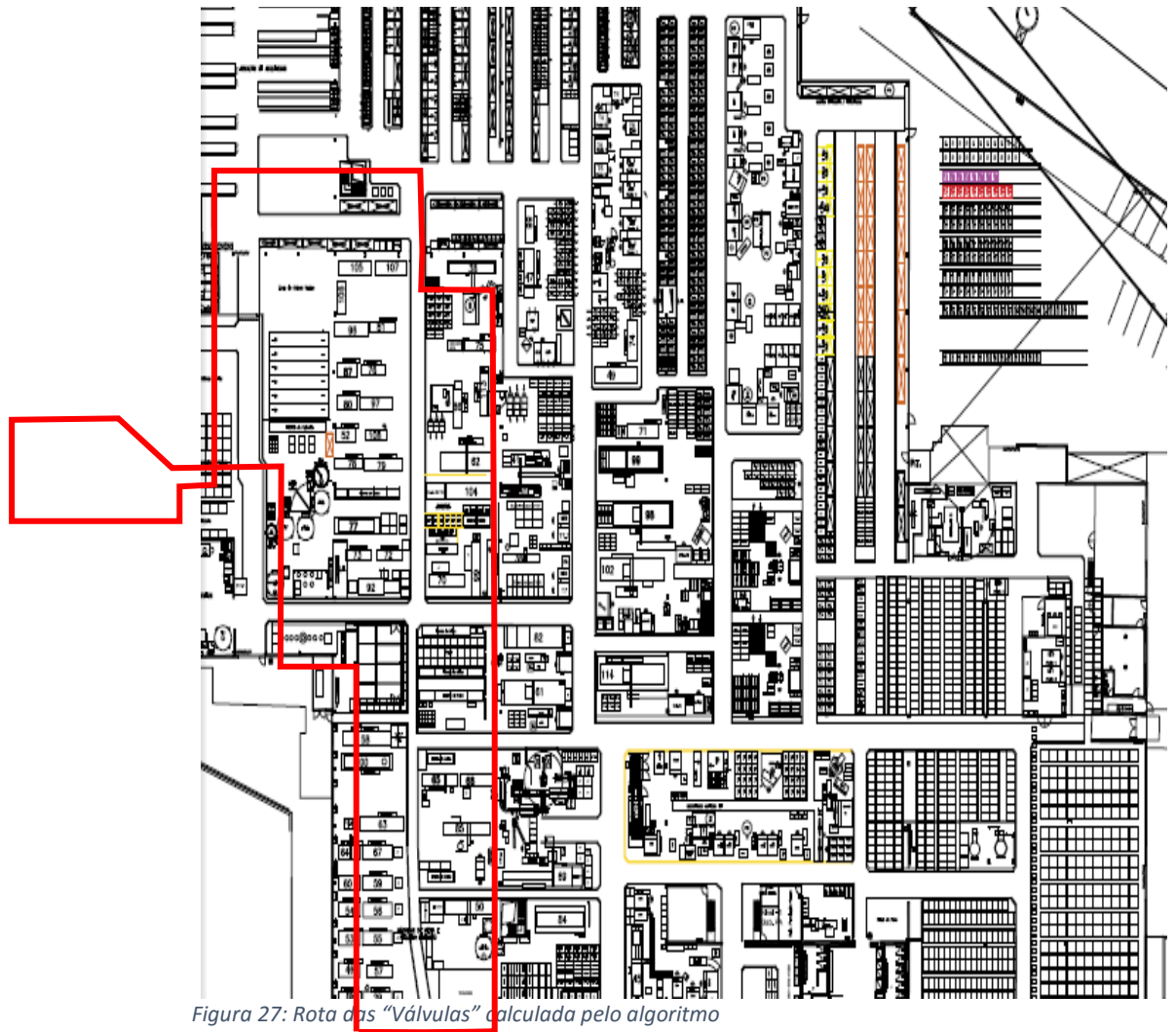


Figura 27: Rota das “Válvulas” calculada pelo algoritmo

Uma outra vantagem relativamente à aplicação, está relacionada com o facto de em qualquer altura, as rotas poderem ser recalculadas. Desta forma se houver algum problema ou alteração de última hora na produção, o tempo de recalculas a(s) rota(s), não irá atrasar o processo produtivo, não se verificando desta forma perdas de produtividade. A aplicação tem um tempo computacional de cerca de 8 segundos.

Por fim, esta abordagem permite também guardar registos de todas as diferentes rotas calculadas, mantendo um histórico, não só das rotas (ordem de visita dos postos) mas também de todos os tempos totais e tempos de chegada a cada posto de trabalho.

Capítulo VI – Conclusões e desenvolvimentos futuros

6.1. Conclusões

Efetuada uma retrospectiva global do projeto de estágio na Oliveira & Irmão, é possível afirmar que, a generalidade dos objetivos, propostos foram cumpridos. Este projeto está dividido em duas partes, uma relativa à otimização dos processos de separação e embalagem e outra relativa à otimização das rotas dos comboios logísticos.

Na primeira parte do projeto, que diz respeito à otimização de processos de separação e embalagem de peças, com a implementação de uma filosofia de *standard work*, através das fichas de layout por molde, conseguiram-se atingir os objetivos propostos. Estes objetivos passavam por reduzir o tempo de realização das tarefas para aumentar a produtividade fabril. Permitiu ainda melhorar as condições de trabalho dos operadores e uniformizar todo o processo. Deixaram de se verificar desperdícios nos postos de trabalho dos operadores e ainda permitiu eliminar algumas tarefas que o operador tinha de realizar, como organizar o posto de trabalho quando iniciava o seu turno. Ao existir uma uniformização na forma de trabalhar de todos os operadores, esta tarefa deixou de existir.

Ainda relacionado com a primeira parte, foram também desenvolvidos dois projetos mais pequenos. A criação de uma zona para abastecimento de caixas vazias, o que permitiu melhorar as condições de trabalho do operador, pois sabe sempre onde estão as paletes de caixas vazias provenientes do armazém logístico, não tendo de andar à procura das mesmas. Fez-se também uma análise mais detalhada de alguns moldes, moldes estes que estavam a retirar muito tempo ao operador, e levava a que ele não conseguisse realizar algumas tarefas. Estes moldes foram retirados de produção o que melhorou muito as condições de trabalho.

Na segunda parte do projeto, que diz respeito à otimização das rotas *mizusumashi*, todos os objetivos foram cumpridos. Foi desenvolvido um algoritmo que permitiu adaptar as rotas às necessidades diárias de produção, o que melhorou os tempos de deslocação em cerca de 8% e permitiu automatizar todo o processo de criação de rotas. Agregado a este algoritmo foi desenvolvido um programa em *Visual Basic for Applications*, que permitiu automatizar todo o processo, permitindo também que qualquer operador da fábrica conseguisse calcular novas rotas, de forma simples e rápida. Além disso, permite a obtenção de um histórico de rotas e respetivos tempos de deslocação.

De forma geral, todo o projeto foi bem-sucedido e bastante vantajoso, tanto para a empresa, uma vez que foi possível implementar medidas de gestão industrial com obtenção de ganhos sensíveis às melhorias introduzidas, com satisfação global dos colaboradores, bem como a nível pessoal uma vez que possibilitou a conceção e implementação de um projeto que traduziu a aquisição de conhecimentos e competências muito úteis para o desenvolvimento pessoal e profissional, presente e futuro.

6.2. Desenvolvimentos futuros

O futuro da Oliveira & Irmão passa pela criação de unidades autónomas de produção, para cada um dos grupos de produtos da empresa. Estas mudanças irão implicar mudanças de *layout* constantes, por isso o programa desenvolvido para a otimização de rotas *mizusumashi*, deve ser continuamente atualizado para que o processo não volte ao que era antigamente. Pode ainda ser melhorado e integrar um interface gráfico que desenhe a rota numa imagem sobreposta ao *layout* da fábrica, para que a rota fique ainda mais simples e mais fácil de interpretar. Além disso, deve também ser desenvolvido uma interface gráfica mais simples e intuitiva para ser facilmente utilizada por qualquer operador.

Agora que o processo de separação e embalagem de peças está mais rápido e uniformizado, os operadores têm tempo para realizar tarefas adicionais. Poderão implementar uma nova filosofia de trabalho, onde os operadores apoiam as mudanças de molde, substituindo o mudador de moldes. Se fosse implementado, poderiam reduzir o número de pessoas alocadas à zona da injeção de peças e alocar esses recursos a outras tarefas.

Para finalizar, deve salientar-se a importância da cooperação entre o Ensino Superior e a atividade industrial através de projetos que valorizem o conhecimento do aluno, e que ao mesmo tempo, contribuam para a melhoria da atividade organizacional por parte das empresas portuguesas.

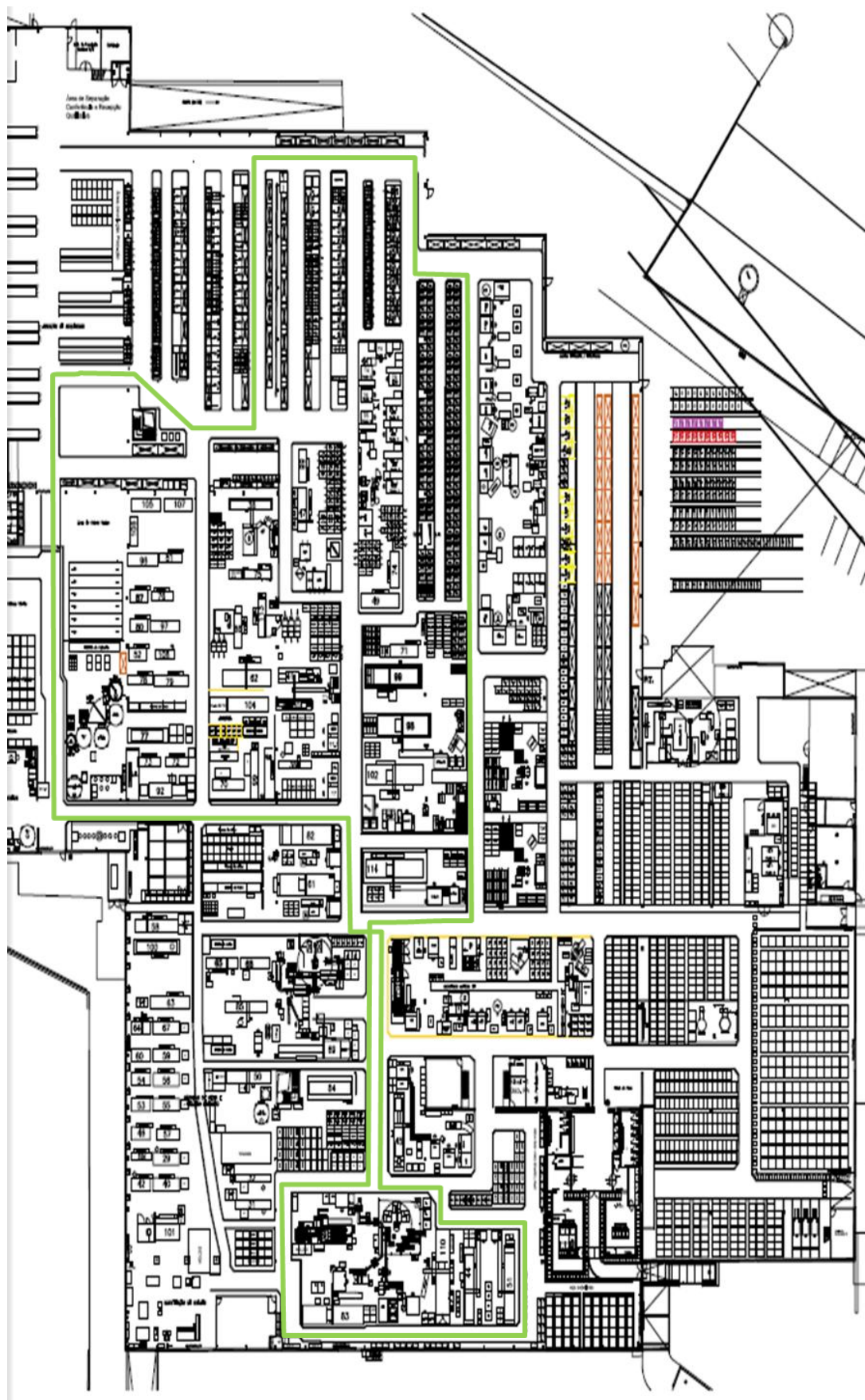
7. Bibliografia

- Abdulmalek, F., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 223 - 236.
- Arenales, M., Armentano, V., Morabito, R., & Yanasse, H. (2007). *Pesquisa Operacional: Para cursos de engenharia*. Rio de Janeiro: Campus.
- Askin, R., & Krishnan, S. (2009). Defining inventory control points in multiproduct stochastic pull systems. *International Journal of Production Economics*, 45 - 54.
- Brar, G., & Saini, G. (2011). Milk Run Logistics: Literature Review and. *World Congress on Engineering*. London: WCE.
- Bräysy, O., & Gendreau, M. (2005). Vehicle Routing Problem with Time Windows, Part II: Metaheuristics. *Transportation Science* , 119 - 139.
- Brynjolfsson, E., Hu, Y., & Simester, D. (2011). Goodbye Pareto Principle, Hello Long Tail: The Effect of Search Costs on the Concentration of Product Sales. *Management Science*, 1373 - 1386.
- Carvalho, J. (2010). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. Edições Silabo.
- Christopher , M. (1998). *Logistics and Supply Chain Management*. England : Prentice Hall.
- Dantzig, G., & Ramser, J. (1959). *The Truck Dispatching Problem* .
- Faria, H., & Maristela, D. (2010). *Uma perspectiva de análise sobre o processo de trabalho em saúde: produção do cuidado e produção de sujeitos*. Brasil.
- Fisher, M. (1995). *Vehicle Routing* . USA: Elsevier Science .
- Freidvals, A., & Niebel, B. (2009). *Niebel's Methods, Standards and Work Designs, 12th ed.* McGraw-Hill.
- Gendreau, M., Hertz, A., & Laporte, G. (1994). A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem. *Management Science*, Vol. 40, No. 10, 1276 - 1290.
- Goldbarg, M., & Luna, H. (2005). *Otimização combinatória e programação linear*. Editora Campus.
- Hillier, S., & Lieberman, G. (2005). *Introduction to Operations Research*. Mcgrow-Hill.
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Leaning to evolve: A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 24 , 994 - 1011.
- Iancu, D., & Trichakis, N. (2014). Pareto Efficiency in Robust Optimization. *Management Science*, 130 - 147.
- Ichikawa, H. (2009). SIMULATING AN APPLIED MODEL TO OPTIMIZE CELL PRODUCTION AND PARTS SUPPLY (MIZUSUMASHI) FOR LAPTOP ASSEMBLY. *IEEE*. Japan: Kagoshima University.

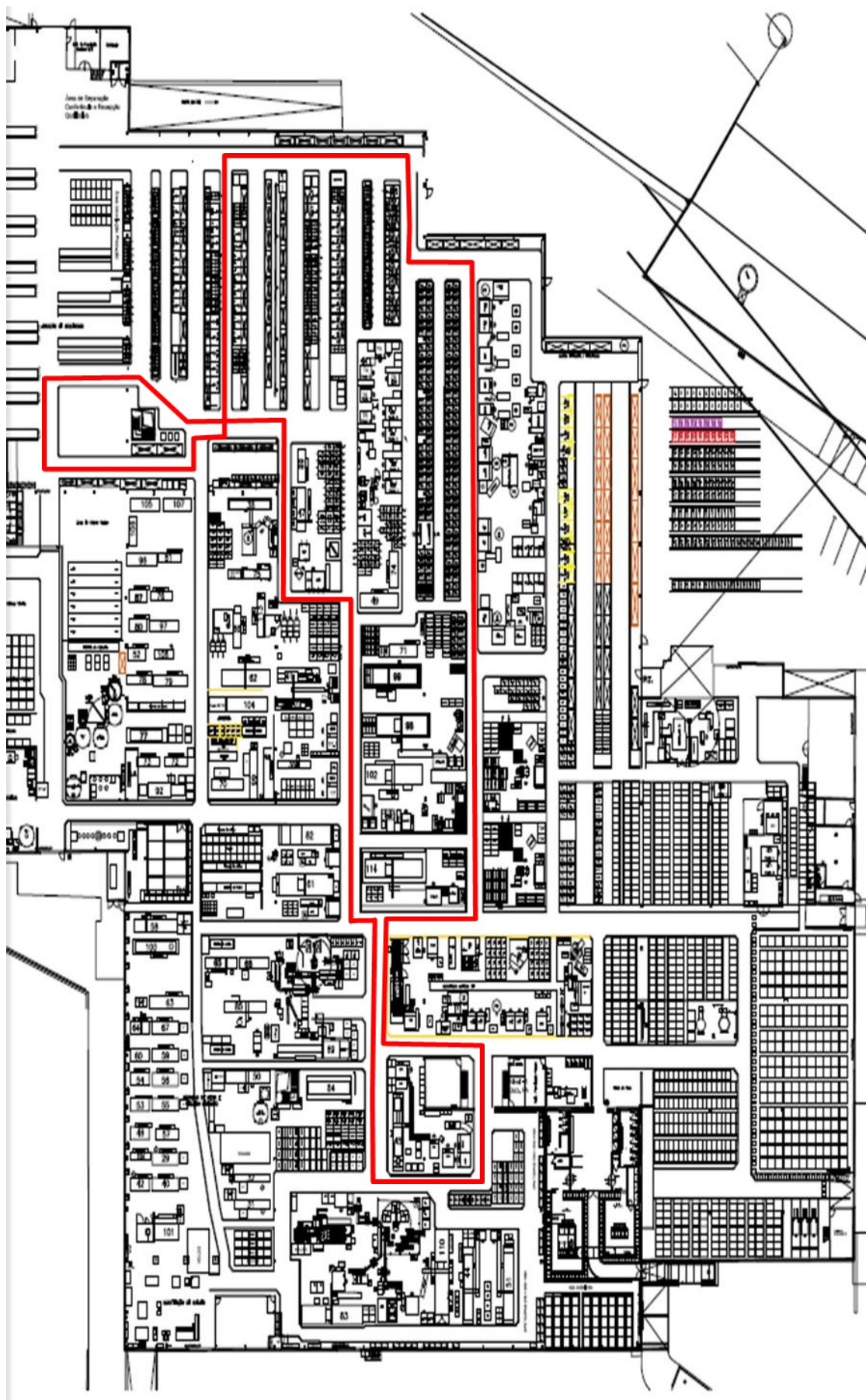
- Lage Junior, M., & Godinho Filho, M. (2010). Variations of the kanban system: Literature review and classification. *International Journal of Production Economics*, 13 - 21 .
- Laporte, G. (1992). The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 345 - 358.
- Laporte, G., & Louveaux, F. (1998). Solving Stochastic Routing Problems with the Integer L-Shaped Method. *Fleet Management and Logistics* , 159 - 167.
- Lee, H., & Wang, M. (2008). On the search of workstations arrangement in pull production systems. *International Journal of Production Economics*, 613 - 623.
- Liker, J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. McGraw-Hill Professional .
- Liker, J., & Meier, D. (2007). *Toyota Talent - Developing your people the Toyota way*. New York: McGraw-Hill.
- Loureiro, S., Margoto, L., Varejão, F., & Queiroga, R. (s.d.). Um mecanismo automático para busca de parâmetros de técnicas de classificação utilizando algoritmos genéticos. XXV *Congresso da Sociedade Brasileira de Computação* (pp. 712 - 721). Espírito Santo: ENIA.
- Martin, T., & Bell, J. (2011). *New Horizons in Standardized Work: Techniques for Manufacturing and Business Process Improvement*. New York: Productivity Press.
- Naufal, A., Jaffar, A., Yusoff, N., & Hayati, N. (2012). Development of Kanban System at Local Manufacturing Company in Malaysia—Case Study. *Procedia Engineering*, 1721 - 1726.
- Nomura, J., & Takakuwa, S. (2006). *Optimization of a number of containers for assembly lines: the fixed-course pick-up system*. Japan: Nagoya University .
- Pinto, J. (2009). *Toyota Production System, a filosofia de um vencedor*. Comunidade Lean Thinking .
- Pinto, J. P. (2006). *Gestão de Operações na Indústria e Serviços, 2ª Ed*. LIDEL.
- Pinto, J. P. (2008). *Lean Thinking: Introdução ao pensamento magro*. Comunidade Lean Thinking .
- Potvin, J., Gendreau, M., Laporte, G., Cordeau, J., & Semet, F. (2002). A guide to vehicle routing heuristics. *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 53, No. 5, 512 - 522.
- Quivy, R., & Campenhoudt, L. (1998). *Manual de investigação em ciências sociais*. Porto: fep.
- Rother, M. (2010). *Toyota Kata: Managing people for improvement, adaptiveness and superior results*. New York: McGraw-Hill.
- Stevenson, W. (2005). *Operations Management, 8th ed*. McGraw-Hill.
- Tansini, L., & Vieira, O. (2006). New measures of proximity for the assignment algorithms in the MDVRPTW. *Journal of the Operational Research Society* , 241 - 249.
- Team, P. (2002). *Kanban for the Shop Floor: The Productivity Press Development Team*. Taylor & Francis.

- Trudeau, P., & Dror, M. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, Vol. 6, No. 1, 80 - 91.
- Womack, J., & Jones, D. (2003). *Lean Thinking, Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. London: Simon & Schuster.
- Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The Machine that Changed the World*. New York: Rawson Associates.
- Zeng, J., An, M., & Smith, N. (2007). Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment . *International Journal of Project Management*, 589 - 600.

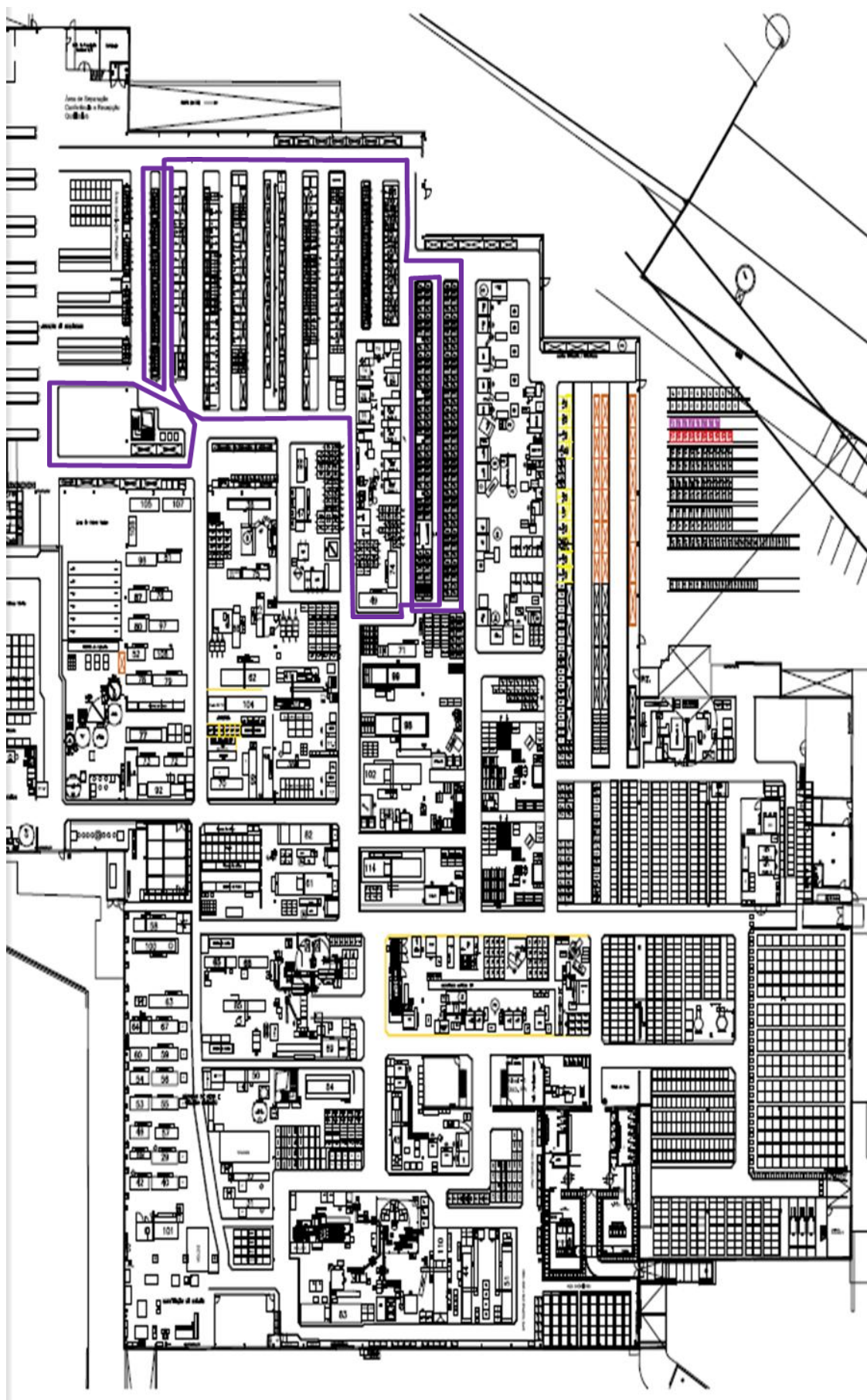
8. Anexos



Anexo 1: Rota dos exteriores

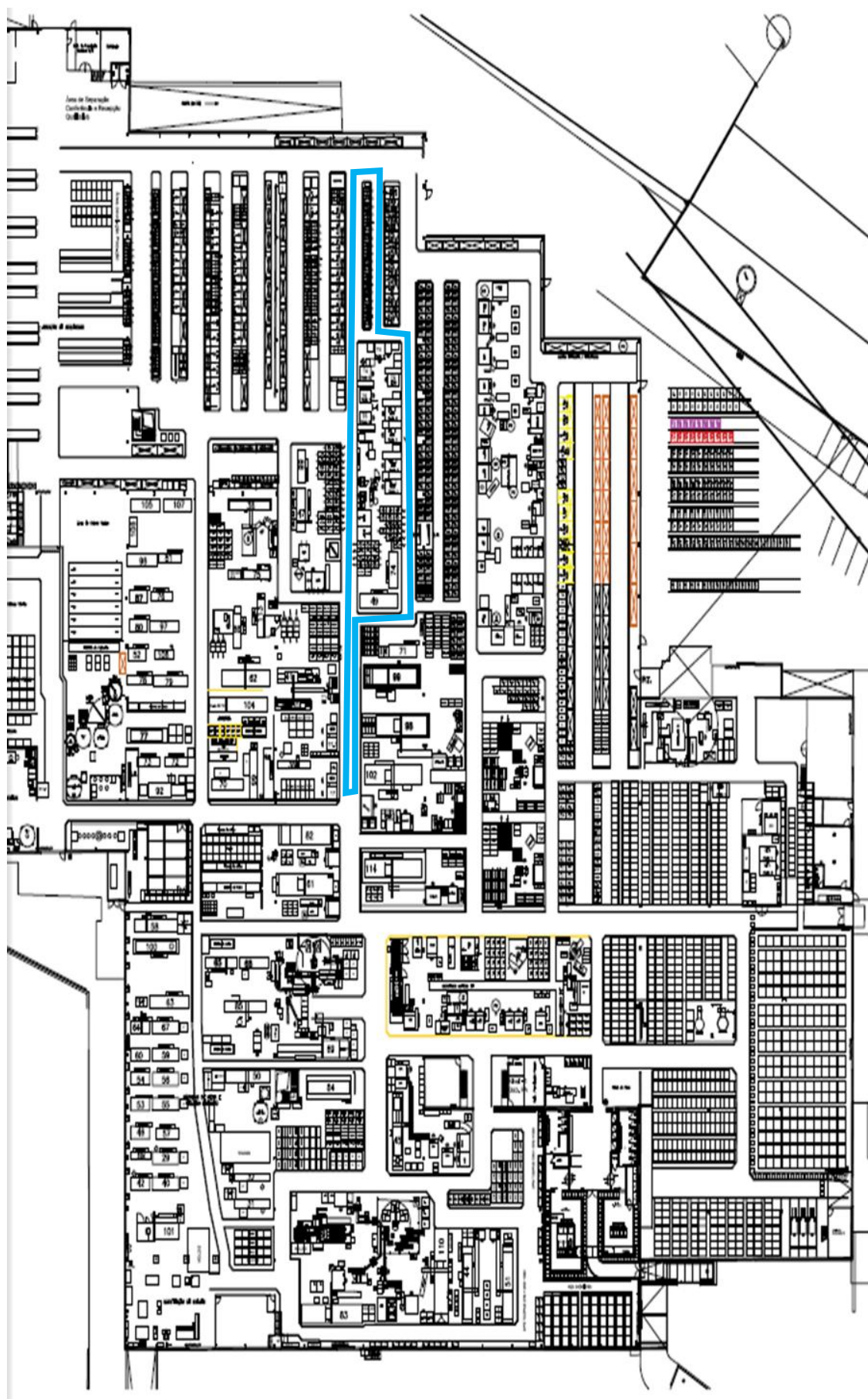


Anexo 2: Rota das válvulas



Anexo 4: Rota dos mecanismos





Anexo 6: Rota das torneiras